

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN AL TEMA

1.1 Introducción

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos con un ligante asfáltico y conforman una de las partes estructurales más importantes dentro de los pavimentos flexibles que es la capa de rodadura y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y segura a sus usuarios. Una de las principales causas para el deterioro de los pavimentos es la deficiencia de la calidad de los materiales utilizados, de aquí la necesidad de utilizar materiales que involucren el mejoramiento del comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica.

En el Departamento de Tarija existen regiones con diferentes climas, por lo que se realizan pavimentos utilizando mezclas asfálticas convencionales como también modificadas con aditivos (polímeros) con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo establecido para su utilización en carreteras, pero así mismo en algunos casos ocasionan elevados costos.

El presente estudio busca establecer la incidencia en el comportamiento de las propiedades en las mezclas asfálticas al incorporar carbonato de calcio como filler, buscando obtener un pavimento con mayor durabilidad.

Dentro del aporte teórico, el trabajo se enfoca en la teoría respecto al diseño de mezclas asfálticas, de sus características y propiedades mecánicas. La aplicación práctica será una posible alternativa dentro del campo de los asfaltos modificados y su viable uso en la construcción de pavimentos flexibles.

1.2 Justificación

El constante avance tecnológico que existe obliga a experimentar con nuevos productos, métodos y formas de aplicación de los agregados en las mezclas asfálticas para el uso en pavimentos; es debido a ello que en este último tiempo se realizaron todo tipo de investigaciones buscando soluciones a los problemas que sufren los pavimentos por distintos efectos producidos ya sea por el medio ambiente (como lo son las variaciones de temperatura) humedad y otros factores, o por las acciones del hombre (como las cargas de tránsito), los materiales empleados en la construcción de la mezcla asfáltica integran un papel fundamental a la hora de obtener una mezcla ideal.

Esta investigación se realiza con la finalidad de demostrar que el filler, componente de la mezcla asfáltica, si influye en diversos factores de la misma. Asimismo, como varían respecto al variar o sustituir el filler natural.

Por todo lo anteriormente mencionado, surge la necesidad de considerar para la presente investigación el analizar la variación del comportamiento mecánico (estabilidad, fluencia, % de vacíos de aire, % de vacíos de agregado mineral, y densidades), al adicionar diferentes porcentajes del carbonato de calcio como reemplazo del filler en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Para realizar esta evaluación proponemos realizar un análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica modificada con carbonato de calcio como reemplazo del filler, de esta manera poder observar los posibles cambios que presentaran dichas propiedades.

En el aspecto económico

La reducción de la vida útil en vías es más notoria y con ello, el aumento de los costos para su mantenimiento; esto se puede dar por diferentes razones como son: un mal diseño del pavimento, también puede influir el clima, pero en primera instancia se puede ver afectado por la utilización de materiales de baja calidad y que no cumplen con los rangos de calidad establecidos. Por ello, se ha despertado el interés en realizar investigaciones para ver las causas de ello y buscar soluciones.

En el aspecto ambiental

Al emplear carbonato de calcio como parte de las mezclas asfálticas, se proporciona un uso significativo en varias industrias, como lo son la construcción, la agricultura, la fabricación de papel.

En el aspecto técnico

Resulta provechoso realizar esta investigación, ya que los materiales a ser analizados son muy accesibles.

1.3 Diseño teórico

1.3.1 Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problemática

El comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica, se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga (carga de servicio) y nos define la calidad, resistencia y durabilidad de una mezcla asfáltica. Su comportamiento depende de varios factores como son los materiales que la componen, la sollicitación de carga de tránsito aplicada, el tiempo donde esta actúa y la temperatura del ambiente en que se encuentra

Hoy en día se adicionan agentes modificadores para la mezcla asfáltica con el objeto de mejorar su comportamiento mecánico a diferentes temperaturas de servicio, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo requerido para su utilización en carreteras, pero así mismo ocasionan elevados costos.

Con el presente estudio usando carbonato de calcio como filler, se pretende detectar posibles variaciones favorables en el comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, para así mitigar los problemas que tienen las mezclas asfálticas convencionales, mejorando sus propiedades como su durabilidad, resistencia a deformaciones, al deterioro por las cargas de tránsito y así obtener un producto final más duradero y seguro.

1.3.1.2. Problema

¿Cuáles son los efectos que produce el carbonato de calcio como filler en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica producida en caliente?

1.3.2. Objetivos

1.3.2.1. Objetivo general

Estudiar la **influencia del carbonato de calcio utilizado como filler** en el comportamiento de las **propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas** en caliente **aplicando el método Marshall** con el fin de detectar sus ventajas y desventajas en dichas propiedades.

1.3.2.2. Objetivos específicos

- Observar la incidencia del porcentaje óptimo del carbonato de calcio a medida que se aumenta en una mezcla asfáltica.
- Analizar los parámetros de la composición granulométrica de los agregados para la mezcla asfáltica y el aditivo.
- Analizar las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla asfáltica con la adición de carbonato de calcio.
- Determinar la factibilidad de uso de carbonato de calcio como filler en mezclas asfálticas.

1.3.3. Hipótesis

Adicionando el carbonato de calcio como filler, se mejorarán las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

1.3.4. Definición de variables independientes y dependientes

1.3.4.1. Variables independientes

- **Cemento asfáltico:** El asfalto es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura
- **Agregados:**
 - i) **Agregado grueso**
 - ii) **Agregado fino**
- **Filler convencional:** Se denominará filler mineral al material que pasa el tamiz N° 200.

- **Filler de carbonato de calcio:** igualmente el carbonato de calcio deberá pasar por el tamiz N°200

1.3.4.2. Variables dependientes

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (estabilidad, fluencia, % De vacíos de la mezcla, % V.A.M (Vacíos del Agregado Mineral), % RBV, densidad)

1.3.4.3 Conceptualización y operabilidad de variables

Tabla 1: Operabilidad de variables independientes

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/ Acción
Cemento asfáltico	Material de propiedades aglutinantes, tiene características que varían.	El porcentaje optimo se determina de acuerdo al método Marshall	Esta en función a las gráficas del método Marshall.	Norma AASHTO-ASTM
Agregados	Material pétreo, en forma de fragmentos como parte de una mezcla asfáltica	La cantidad variara de acuerdo a la dosificación realizada en la M.A.C Y M.A. con polvo de cascara de huevo	M.A 59% del agregado grueso. M.A 39-36% del agregado fino. M.A. 2-8% filler	Norma AASHTO-ASTM
Carbonato de calcio	Residuo generado por la piedra caliza o procesos de síntesis química	La cantidad varía de acuerdo a criterio	Se tomará los porcentajes 1%,2%,3%,4%,5%,6%	Norma AASHTO-ASTM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Operabilidad de variables dependientes

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas	Se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga de servicio	Estabilidad	Mínima 1800lb	Norma AASHTO – ASTM
		Fluencia	8-16	
		% V.A.M.	Max. 15%	
		% Vacíos en la mezcla	3% - 5%	
		%R.B.V.	75% - 82%	
		Densidad	-	

Fuente: Elaboración propia

1.4. Diseño metodológico

1.4.1. Componentes

1.4.1.1. Unidad de estudio

Comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas a causa y efecto cuando se carbonato de calcio como filler.

- Estabilidad.
- Fluencia.
- % V.A.M.
- %R.B.V.
- % Vacíos de la Mezcla.
- Densidad.

1.4.1.2. Población

Mezclas asfálticas con carbonato de calcio como filler.

1.4.1.3. Muestra

Se realizará el estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica con carbonato de calcio como filler adicionadas en varios porcentajes a las mezclas asfálticas utilizando agregados de la región.

1.4.1.4. Muestreo

Se realizará la evaluación de las propiedades mecánicas mediante el ensayo de laboratorio Marshall, observando los cambios producidos cuando se varía el porcentaje de filler en las mezclas asfálticas.

1.4.2 Métodos y técnicas empleadas

1.4.2.1 Experimentales

La realización del siguiente trabajo de investigación se plantea como:

Experimental; puesto que se realizan netamente ensayos de laboratorio para caracterizar y lograr valorar el efecto que tendrá el carbonato de calcio como filler en una mezcla asfáltica

1.4.3 Técnicas de muestreo

1.4.3.1. Selección de las técnicas de muestreo

Se realizará el estudio del comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas como son: Densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica, % V.A.M., Estabilidad, y Fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall; observando los cambios producidos cuando se varía la cantidad de polvo de cascara de huevo como filler.

Se realizará un muestreo estratificado por afijación proporcional donde:

Tabla 3: Datos nivel confianza 95%

Z	1.96 (valor de NC)
p	0,5 (probabilidad de que ocurra el suceso)
q	0,5 (probabilidad de que no ocurra el suceso)
e	0,05 (error probable)

Fuente: Elaboración propia

Calculando N

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2} = 384 \text{ ensayos}$$

donde:

N=población.

P=Probabilidad

q=100-p

e=Error.

z=valor del nivel de confianza

calculando n para la muestra estratificada:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * pi * qi}{N * \frac{e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ni * pi * qi} = 192 \text{ elementos}$$

Donde:

n: Muestra

numero de muestras para un nivel de confianza del 95% y un error del 5%

Tabla 4: Planilla de resultados muestreo estratificado por afijación proporcional.

Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	ni
Caracterización de los agregados							
Granulometría	9	0,5	0,5	0,25	2,25	0,0283	5,4
Pesos unitarios	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,01887	3,6
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,00629	1,2
Peso específico y abrasión agregados gruesos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,01887	3,6
Peso específico y abrasión agregados finos	4	0,5	0,5	0,25	1	0,01258	2,4
Calibración frascos volumétricos	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,00314	0,6
Peso específico filler convencional	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,00314	0,6
Peso específico filler carbonato de calcio	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,00314	0,6
Equivalente de arena	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,00943	1,8
Porcentaje de caras fracturadas	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,00314	0,6
Caracterización del cemento asfáltico							
Penetración	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,00943	1,81
Peso específico	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,00943	1,81
Punto de ablandamiento	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,00629	1,21
Punto de inflamación	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,00943	1,81
Ductilidad	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,00943	1,81
Propiedades mecánicas (Marshall)							
Estabilidad	90	0,5	0,5	0,25	22,5	0,28302	54,34
Fluencia	90	0,5	0,5	0,25	22,5	0,28302	54,34
Densidad	90	0,5	0,5	0,25	22,5	0,28302	54,34
Total	318				79,5	1	192

Fuente: Elaboración propia

1.4.4. Factibilidad de recursos y medios utilizados

El estudio es factible ya que todos los componentes se encuentran en nuestra región.

En lo que respecta al tema de recursos, corresponde a los materiales que componen las mezclas asfálticas, el cemento asfáltico C.A. 85 – 100, fue proporcionado por la alcaldía de la ciudad de Tarija.

Los agregados utilizados son del departamento de Tarija, los cuales se producen en la chancadora de áridos Garzón se optó por estos ya que tiene disponibilidad durante todo el año.

En cuanto al Carbonato de calcio usado como filler, se obtuvo de la ciudad de Cochabamba que proviene de la Empresa “**QUIMICA BASSE S.A.**” la misma que comercializan con el nombre de “**CALCITA**”, la cual tiene un 98.3% de carbonato de calcio CaCO_3 .

Todos los equipos de laboratorio se encuentran en el departamento de Tarija; los ensayos correspondientes a la caracterización de los agregados, caracterización del cemento asfáltico, caracterización del carbonato de calcio y los correspondientes al estudio de investigación se realizarán en el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S. dependiente de la carrera de INGENIERIA CIVIL.

1.4.5. Ensayos de laboratorio a realizarse

1.4.5.1. Caracterización de los agregados

- Granulometría agregado grueso (AASHTO T-27-99 y ASTM E-40).
- Granulometría agregado fino (AASHTO T-11-96 y ASTM E-117).
- Granulometría del filler (AASHTO T-27-99 y ASTM E-40).
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D-5821-95).
- Equivalente de la arena y agregados finos (AASHTO T-176-00 y ASTM D-2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (AASHTO-T96-99 y ASTM C-131).
- Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO-T84 y ASTM D-128).

- Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO-T85-91 y ASTM D-127).
- Peso específico del filler convencional y carbonato de calcio (AASHTO-T100 y ASTM D-854)
- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791)
- Peso unitario agregado grueso (ASSHTO T-19 y ASTM C-29).
- Peso unitario agregado fino (ASSHTO T-19 y ASTM C-29).

1.4.5.2. Caracterización del asfalto

- Ensayo de penetración (AASHTO T-49-97 y ASTM D-5).
- Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T-53-96 y ASTM D-36).
- Ensayo de punto de inflamación (AASHTO D-1310-01 y ASTM T-79-96).
- Ensayo de peso específico (AASHTO T-229-97 y ASTM D-229-97).
- Ensayo para determinar la ductilidad (AASHTO D-113 y ASTM T-51-00)

1.4.5.3. Ensayos a la mezcla asfáltica

- Método Marshall (ASSHTO T-27 y ASTM D-1559).

1.5. Productos esperados con el procedimiento.

Tabla 5: Productos esperados

N°	Actividad	Productos esperados
1	Diseño del marco teórico y metodológico	Establecer la teoría y metodología de acuerdo al estudio.
2	Ensayo de los agregados	Cumplir con lo establecido en la Norma AASTHO, ASTM.
3	Ensayos del cemento asfáltico	Cumplir con lo establecido en la Norma AASTHO, ASTM.
4	Diseño de mezclas asfálticas	Diseño de mezcla asfáltica con filler convencional y carbonato de calcio.
5	Comportamiento mecánico	Observar los cambios producidos en densidad, % de vacíos de la mezcla asfáltica. %V.A.M., %R.B.V., Estabilidad y Fluencia mediante el Metodo Marshall.
6	Tratamiento estadístico	Garantizar el nivel de confianza a nuestros resultados.
7	Análisis de resultado	Validar la hipótesis planteada.
8	Conclusiones	Indicar si se cumple con los objetivos planteados una vez concluido el estudio.

Fuente: Elaboración Propia

1.5.1 Resultados esperados

Dado el caso que las propiedades de la mezcla asfáltica resulten optimizadas por la sustitución del nuevo filler (Carbonato de Calcio), esta investigación podría dar pie para que se hagan otro tipo de evaluaciones a esta mezcla asfáltica modificada; para que así se presente la posibilidad de que se establezca su producción y su uso dentro de la infraestructura vial en el departamento de Tarija.

1.6. Alcance de la investigación

En alcance de esta investigación, engloba conceptos básicos y parámetros de análisis, comparación, recopilados de varios libros y normas (AASHTO-ASTM).

Los ensayos realizados están orientados de manera objetiva para analizar y evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio como filler.

Para ello se realizará un estudio de los parámetros de diseño que interviene en las mezclas asfálticas adoptando un método de dosificación; así mismo se analizará en laboratorio los materiales que componen la mezcla para verificar que cumplan con ciertas exigencias establecidas en norma, para así poder elaborar briquetas y diseñar mediante el método Marshall su dosificación óptima, obteniendo sus propiedades mecánicas para analizarlas y dar validez a los resultados mediante un tratamiento estadístico.

Para concluir el trabajo se establecerán conclusiones de acuerdo a lo planteado en los objetivos y recomendaciones en base a las experiencias de los ensayos de laboratorio realizados.

CAPÍTULO II:

MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. Generalidades

2.1.1. Antecedentes de asfaltos

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio asphatu o asphallo, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos.

Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt). Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos.

Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al Noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción de pavimentos interiores de 3 a 4 cm de espesor.

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

A continuación, se muestra un cuadro donde se puede observar cronológicamente el desarrollo de la utilización del asfalto como material de construcción.

Tabla 6: Historia del asfalto

Año	Uso
6000 A.C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó como mortero.
3200 – 2600 A.C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600 – 540 A.C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 A.C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamientos.
1802 D.C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.
1838 D.C.	En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 D.C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E.J. De Smedt, químico Belga.
1876 D.C.	Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D.C. con asfalto de lago importado.
1902 D.C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Conferencia: Esquema actual y futuro de producción de asfaltos en PEMEX refinación. Ing.: Jorge Rodríguez.

2.1.2. Definición de mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas se pueden definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades de la mezcla y su rendimiento.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.1.3. Clasificación de mezcla asfáltica

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la temperatura de puesta en obra

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican a temperaturas elevadas, en el rango de los 150 °C.
- Mezclas asfálticas en Frio: Se fabrican con emulsión asfáltica a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6%
- Mezclas Semicerradas o Semidensas: La proporción de vacíos esta entre el 6% y 10%
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %

d) Por el tamaño máximo del agregado pétreo

- Mezclas Gruesas: Tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas finas: Tamaño máximo del agregado pétreo no supera los 10 mm.

e) Por la estructura del agregado pétreo

- Mezclas con Esqueleto mineral: Esqueleto mineral resistente.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente.

f) Por la granulometría

- Mezclas Continuas: Cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo.
- Mezclas Discontinuas: Cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo.

Tabla 7: Clasificación de las mezclas asfálticas por su tipo de mezcla

Clasificación de mezclas asfálticas	Fracción de agregado	Masilla asfáltica
		Mortero asfáltico
		Concreto asfáltico
		Macadam asfáltico
	Temperatura de puesta en obra	Mezclas en caliente
		Mezclas en frio
	Proporción de vacíos	Mezclas cerradas o densas
		Mezclas semicerradas
		Mezclas abiertas
		Mezclas porosas o drenantes
	Tamaño máximo del agregado	Mezclas gruesas
		Mezclas finas
	Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
		Sin esqueleto mineral
	Granulometría	Mezclas continuas
		Mezclas discontinuas

Fuente: Mezclas asfálticas – Alejandro Padilla Rodriguez

2.1.4. Propiedades mecánicas

En general presentan una serie de características físicas comunes tales como su color oscuro, la facultad de presentar buena adhesividad con la superficie de las partículas minerales o su miscibilidad con el agua.

En cuanto a su comportamiento mecánico, debe decirse que es muy complejo y que depende de varios factores, como son la sollicitación aplicada, el tiempo durante el que ésta actúa o la temperatura ambiente.

Todo este complejo comportamiento trata de explicarse desde el punto de vista global de la reología.

Las propiedades más destacables de los betunes desde el punto de vista de la técnica de construcción de carreteras son las siguientes

- Adhesividad

Facilidad que presenta el betún para adherirse a la superficie de una partícula mineral. Esta característica es muy importante en mezclas asfálticas, donde betún y áridos deben formar un conjunto homogéneo y continuo. Para mejorarla, puede recurrirse al uso de activantes.

- Viscosidad

Se define como la resistencia que oponen las partículas a separarse, debido a los rozamientos internos que ocurren en el seno del fluido. En el caso de los betunes varía con la temperatura, lo que da una idea de su susceptibilidad térmica

- Susceptibilidad térmica

Indica la propensión que presenta el betún a variar ciertas propiedades Teológicas - especialmente la viscosidad- con la temperatura. Gracias a esta propiedad pueden manejarse con facilidad a altas temperaturas, presentando una mayor estabilidad a temperatura ambiente.

- Plasticidad

Define el comportamiento mecánico del betún ante diferentes estados físicos y temporales de carga. Un betún poco plástico no soportará deformaciones excesivas sin que se produzcan grietas o desconchamientos.

- Envejecimiento

Fenómeno de degradación y transformación química de los componentes del betún debido a la acción oxidante del aire y la presencia de la humedad y radiaciones solares, haciendo que el betún pierda sus propiedades reológicas y adhesivas. En base a las propiedades anteriormente descritas, pueden establecerse las características que debería cumplir el ligante ideal:

-Debe ser fluido durante su puesta en obra para que sea trabajable y penetre en profundidad, recubriendo la superficie de los áridos y dándoles adherencia. Para ello se calienta a altas temperaturas, sin llegar a inflamarlo.

-Por el contrario, debe ser suficientemente consistente y viscoso a temperaturas ambiente altas, para que el firme sea poco deformable bajo la acción continuada de las cargas de tráfico, sin que presente fenómenos de fluencia. A bajas temperaturas debe presentar flexibilidad, para que el pavimento no se vuelva frágil y quebradizo, y trabaje de la forma como se ha ideado. La película de ligante debe tener un espesor suficiente para que el proceso de envejecimiento no le afecte en demasía.

- Durabilidad

La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico, asegurando un adecuado espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico. El curado durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.

Tabla 8: Causas y efectos de una poca durabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: Elaboración propia

- Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado o la granulometría

Tabla 9: Causas y efectos de problemas en trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: Grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable

Fuente: Elaboración propia

2.1.5. Características y comportamiento de la mezcla asfáltica

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son la densidad de la mezcla, vacíos de aire, o simplemente vacíos, vacíos en el agregado mineral y el contenido de asfalto.

2.1.5.1. Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (gr/cm^3) o libras por pie cúbico (lb/pie^3), se calcula al dividir el peso en seco de la muestra(briqueta) entre el volumen de la muestra(briqueta).

La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto, las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

2.1.5.2. Porcentaje de vacíos de aire

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico.

A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte, un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla.

En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

2.1.5.3. Vacíos en el agregado mineral (V.A.M)

Son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir, el V.A.M es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el V.A.M es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de V.A.M. recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de V.A.M. establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

2.1.5.4. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas.

Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Figura 1: Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica



Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto: cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla

2.1.5.5. Relación betún – vacíos (R.B.V)

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (V.A.M) que se encuentran llenos de asfalto. El V.A.M abarca asfalto y aire, y, por lo tanto, la R.B.V se calcula al restar los % de vacíos de aire del V.A.M, y luego dividiendo por el V.A.M, y expresando su valor como un porcentaje.

2.2. Componentes de las mezclas asfálticas

2.2.1. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

2.2.1.1. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades

- **Penetración (ASTM D-5; AASTHO T-49-97)**

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia, valores altos de penetración indican consistencias más blandas. La normativa ASTM D 5, AASTHO T49-97 indica que los valores mínimos y máximos para un cemento asfáltico 85/100 está entre 85 – 100 respectivamente.

- **Ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T-51-00)**

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 °C y a una velocidad de 5cm/min. La norma ASTM D 113, AASHTO T51-00 indica que el valor mínimo tiene que ser 100 cm.

- **Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D-1310-01; AASHTO T-79-96)**

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de los 70°C determinado por medio de este método de ensayo.

La Norma ASTM D 1310-01, AASHTO T79-96, indica que el valor mínimo es 232°C.

- **Densidad (ASTM D-71-94; AASHTO T-229-97)**

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida.

La Norma ASTM D-71-94, AASHTO T-229-97 indica que los valores mínimos y máximos son 1 y 1,05 respectivamente.

- **Punto de ablandamiento (AASHTO T-53-96)**

Los asfaltos son materiales termoplásticos, que son afectados por los cambios de temperatura y se ablandan conforme la temperatura aumenta, puesto que no poseen un punto de fusión determinado, sino que se ablandan gradualmente, se calcula el punto de ablandamiento que se define como la temperatura que necesita el asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez.

La Norma AASHTO T-53-96 indica que los valores mínimos y máximos son 42°C y 53°C respectivamente.

2.2.1.2. Especificaciones de las propiedades del cemento asfáltico.

Tabla 10: Especificaciones de las propiedades del cemento asfáltico

Pruebas	Grado de penetración	
	85 – 100	
	Min	max
Penetración	85	100
Punto de inflamación, ensayo Cleveland °C	232	-
Punto de inflamación, ensayo Cleveland °F	(450)	-
Ductilidad a 25°C, 5cm/min.cm	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99	-
Prueba en horno de película delgada (TFO), 3,2mm(1,8in), 163°C (325°F), 5 horas. Perdida por calentamiento, porcentaje	-	1,0
Penetración del residuo, porcentaje del original	50	-
Ductilidad de residuo a 25°C (77°F), 5cm/min.cm	75	-
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con:		
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados	
Solvente de nafta – xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados	
Solvente de heptano – xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados	

Fuente: Guia básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.

2.2.2. Agregados pétreos

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

2.2.2.1. Clasificación de los agregados pétreos

Los agregados utilizados en mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a su origen, estos pueden ser:

- **Agregados naturales**

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

- **Agregados procesados**

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados.

- **Agregados sintéticos**

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales.

2.2.2.2. Propiedades de los agregados pétreos

En una mezcla asfáltica en caliente densamente gradada, el agregado se conforma entre el 90% y 95% en peso, de la mezcla. Esto hace que la calidad del agregado utilizado sea un factor crítico en el comportamiento de la carpeta de rodadura. Las propiedades más comunes para considerar apropiado un agregado para las mezclas asfálticas son las siguientes:

- Gradación y tamaño máximo de la partícula.
- Tamaño máximo del agregado.
- Limpieza.
- Dureza.
- Forma de la partícula.
- Textura de la superficie.
- Capacidad de absorción.
- Afinidad con el cemento asfáltico.

2.2.2.3. Ensayos realizados a los agregados pétreos

- **Granulometria (ASTM E-40 AASHTO T-27-99)**

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Tabla 11: Serie de tamices utilizados para la granulometría

Designación de tamices para agregados gruesos		Designación de tamices para agregados finos	
Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano	Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano
63 mm	2 ½ plg	2,36 mm	N°8
50 mm	2 plg	1,18 mm	N°16
37,5 mm	1 ½ plg	0,60 mm	N°30
25 mm	1 plg	0,30 mm	N°50
19 mm	¾ plg	0,15 mm	N°100
12,5 mm	½ plg	0,075 mm	N°200
9,5 mm	3/8 plg		
4,75 mm	N°4		

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.

- **Peso específico a granel, peso específico saturado, peso específico aparente y la absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C-127 AASHTO T-84)**

Este método establece los procedimientos para determinar el peso específico a granel, peso específico saturado, peso específico aparente y la absorción de agua de los agregados grueso (grava ¾, grava 3/8).

Es aplicable para agregados gruesos de peso específico de 2 a 3 g/cm³, se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

- **Peso específico a granel, peso específico saturado, peso específico aparente y la absorción de agua en agregados finos (ASTM C-128 AASHTO T-85)**

Este método establece los procedimientos para determinar el peso específico a granel, peso específico saturado, peso específico aparente y la absorción de agua de los agregados fino (arena).

Es aplicable para agregados finos de peso específico de 2 a 3 g/cm³, se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

- **Equivalente de arena (ASTM D-2419 AASHTO T-176-00)**

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz N° 4 (4.75 mm)

- **Desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E-131 AASHTO T-96-99)**

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de los Ángeles.

- **Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821)**

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso de material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

- **Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791-99)**

Las partículas individuales de agregado de un tamaño específico de tamiz son medidas para determinar las relaciones de ancho a espesor, de largo a ancho, o largo a espesor.

- **Peso Unitario (AASHTO T-19/T-19M-00 ASTM C-29/C-29M-97)**

Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar valores de la densidad Bulk (Peso Unitario) que son necesarios para usarlos en algunos métodos para seleccionar proporciones de mezclas de concreto.

2.2.2.4. Especificaciones que deben cumplir los agregados

2.2.2.4.1. Agregado grueso

Tabla 12: Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Desgaste de los ángeles	ASTM C-131	35% Max.
3	Porcentaje caras fracturadas	ASTM D-5821	>75%

Fuente: Elaboración propia

No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble.

2.2.2.4.2. Agregado fino

Tabla 13: Especificaciones que debe cumplir el agregado fino

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Equivalente de arena	AASHTO T-176 ASTM D-2419	>50%

Fuente: Elaboración propia

2.3. Filler

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N°200.

Este polvo mineral forma parte de un sistema de partículas finamente divididas, las cuales pueden encontrarse dispersas en el asfalto, actuando como un medio que puede modificar su consistencia y propiedades mecánicas. A este polvo se le denomina filler, ya que forma parte de un sistema de unión con el asfalto, se dice que su función principal es de actuar como un “llenante o rellenedor” al formar parte de un sistema más grande compuesto por asfalto y los agregados pétreos llamados mezcla asfáltica.

2.3.1. Efecto del filler como componente de las mezclas asfálticas

- El principal efecto que tiene el filler sobre los pavimentos es el aumento de durabilidad debido a que se reduce el contenido de vacíos y se disminuye la penetración del agua a las capas inferiores.

- El incremento excesivo de filler en la mezcla asfáltica también genera problemas en su comportamiento, consigue que el pavimento se endurezca demasiado y en consecuencia se vuelva frágil ocasionando fisuras en la capa de rodadura.
- El general el efecto de la adición del filler es endurecer el asfalto, en términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por la acción de una carga, también existirá un incremento en su punto de ablandamiento y un incremento en su rigidez.

2.3.2. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas

Las principales propiedades de las mezclas asfálticas que determinan su calidad se resumen en tres que son: Resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad.

- **Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo excesivo de cemento asfáltico**

Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente se obtendrían mezclas pobres de ligante de menor durabilidad.

- **Acción estabilizante frente al agua**

Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular, evitando el acceso del agua al interior; y por otro lado, debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Las características de finura y comportamiento se hayan vinculadas el tamaño y forma de las partículas de la composición química de los rellenos minerales. Las funciones del polvo mineral no pueden apartarse del contenido y consistencia del ligante asfáltico en la mezcla.

2.3.3. Carbonato de calcio como filler

El carbonato de calcio es un compuesto químico con la fórmula CaCO_3 . Es una sustancia común que se encuentra en la naturaleza en diversas formas, como la calcita, la aragonita, la piedra caliza y mármol blanco.

Figura 2: Carbonato de calcio



Fuente: Wikipedia

2.3.3.1 Propiedades físicas del carbonato de calcio

2.3.3.1. Dureza

La calcita, una de las formas más comunes de carbonato de calcio, tiene una dureza de aproximadamente 3 en la escala de Mohs. Esta dureza moderada hace que sea susceptible a ser rayada por materiales más duros

2.3.3.2.2. Color y brillo

La calcita pura es incolora o blanca. Sin embargo, pueden existir impurezas que le confieran colores variados. Su brillo es vítreo en cristales transparentes y puede ser terroso o mate en otras formas

2.3.3.2.3. Solubilidad

El carbonato de calcio es prácticamente insoluble en agua pura, pero es soluble en agua que contiene dióxido de carbono disuelto, lo que forma bicarbonato de calcio soluble.

2.3.3.2.4. Punto de fusión y descomposición

Se descompone antes de fundirse, por lo que no tiene un punto de fusión definido. A altas temperaturas, alrededor de 825°C, se descompone en óxido de calcio (cal viva) y dióxido de carbono.

2.3.3.2. Beneficios del carbonato de calcio en una mezcla asfáltica

- **Reforzamiento mecánico**

El carbonato de calcio es un material duro que puede actuar como un refuerzo mecánico en la mezcla asfáltica. Esto puede mejorar la resistencia a la deformación y la capacidad de soportar cargas de tráfico, lo que contribuye a una mayor durabilidad de la carretera.

- **Mejora de la estabilidad**

el carbonato de calcio puede contribuir a mejorar la estabilidad de la mezcla asfáltica al aumentar su cohesión. Esto ayuda a prevenir la segregación de los agregados y a mantener la mezcla uniforme durante la colocación y compactación.

- **Control de humedad**

Al igual que el carbonato de magnesio, el carbonato de calcio puede ayudar a absorber y controlar la humedad en la mezcla asfáltica, lo que es importante para mantener la calidad y la resistencia del asfalto.

- **Reducción de la expansión térmica**

El carbonato de calcio tiene una baja expansión térmica en comparación con otros materiales, lo que puede ayudar a reducir la expansión y contracción térmica de la mezcla asfáltica a lo largo del tiempo, minimizando así la formación de grietas.

2.3.4. Ensayos realizados al filler.

2.3.4.1. Granulometría del filler (ASTM D-242)

El método tiene por objeto el análisis, por medio de tamices, del filler empleado en materiales componentes de mezclas para pavimentos bituminosos.

2.3.4.2. Peso específico del filler (ASTM D-854 AASHTO T-100)

El ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico relativo de un suelo compuesto por partículas menores a 5 mm.

2.3.5. Especificaciones del filler

La Granulometria debe cumplir con lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 14: Granulometria que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM

Tamiz	Porcentaje que pasa
N°16	100
N°30	97 – 100
N°50	95 – 100
N°200	70 – 100

Fuente: ASTM D-242 (Standard specification for mineral filler for bituminous paving mixtures)

2.4. Diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall

La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir con tamaños máximos superiores a 5mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25mm (1plg). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son la densidad, estabilidad, fluencia, porcentaje de vacíos, vacíos de agregado mineral (V.A.M), relación betún – vacíos (R.B.V). La variación de los mismos con respecto al contenido de cemento asfáltico de la mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de áridos).

2.4.1. Propósito del método Marshall

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla.

2.4.2. Descripción general

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64 mm (2.5 plg) de espesor por 102 mm (4 plg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayo, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica. Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especímenes compactados

2.4.2.1. Preparacion para el método Marshall

Los agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza del pavimento. El primer paso en el método de diseño, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

2.4.2.2. Selección de las muestras de material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser utilizados en la mezcla asfáltica. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple, los datos

de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

2.4.2.3. Preparación del agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar claramente sus características.

Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico, con la finalidad de preparar una serie de briquetas que tengan diferentes contenidos de asfalto. Se prepara una dosificación por el método analítico, en función de una faja de trabajo que se adecue al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (Grava de 3/4, Gravilla de 3/8, Arena y filler). Una realizado el método analítico para obtener los porcentajes de agregados y cemento asfáltico. Sabiendo que la muestra final se tiene que elaborar con briquetas con un peso de 1200 g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total' de la briqueta, conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briqueta por la diferencia en peso entre el total de la briqueta y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz. Se prepara un número determinado de muestras de agregado para cada contenido de asfalto para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall y se separa cada uno en fuentes o bandejas correctamente identificadas. Es importante mencionar que, para la elaboración del método tradicional de mezcla asfáltica en caliente, el agregado tiene que estar seco, para tal fin, antes de efectuar el pesado se deja el material en horno a 110 °C durante 24 horas.

2.4.2.4. Preparación de las muestras de ensayo (briquetas)

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentos son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, como se mencionó anteriormente. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el

el contenido óptimo de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados de análisis granulométrico y la aplicación del método analítico. Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan por separado y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén recubiertas (esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta).
- La mezcla se vierte en los moldes pre-calentados, luego se procede a la compactación con el martillo, después de completar la compactación, las briquetas se dejan enfriar para luego proceder a su extracción de los moldes.

2.4.3. Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de cemento asfáltico depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas.

Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

2.4.3.1. Granulometría

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La Tabla 2.12 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la norma AASHTO.

Tabla 15: Designación de la mezcla usando el tamaño máximo nominal de agregado

Tamaño de tamiz		37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm
50 mm	(2pulg)	100	-	-	-	-
37.5 mm	(1 1/2 pulg)	90 a 100	100	-	-	-
25.0 mm	(1 pulg)	-	90 a 100	100	-	-
19.0 mm	(3/4 pulg)	56 a 80	-	90 a 100	100	-
12.5 mm	(1/2 pulg)	-	56 a 80	-	90 a 100	100
9.5 mm	(3/8 pulg)	-	-	56 a 80	-	90 a 100
4.75 mm	(N°4)	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85
2.36 mm	(N°8)	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67
1.18 mm	(N°16)	-	-	-	-	-
0.60 mm	(N°30)	-	-	-	-	-
0.30 mm	(N°50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
0.15 mm	(N°100)	-	-	-	-	-
0.075 mm	(N°200) ***	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
Cemento asfáltico Porcentaje en peso del total de la mezcla		3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente.

2.4.3.2. Golpes de compactación

El proceso de compactación se realiza mediante una serie de golpes con el martillo Marshall sobre ambas caras de la muestra, según el propósito y tránsito esperado de la mezcla que se está diseñando

Tabla 16: Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo

Numero de Golpes			
Condición de tránsito que resultan en un ESALs de diseño (millones)	Alto	Medio	Bajo
	>10 hasta 30	De 0,3 a 30	<0,3
Numero de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	75	50	35

Fuente: Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación, división 400

2.4.3.3. Parámetros volumétricos de diseño Marshall

La volumetría de la mezcla para encontrar el contenido de asfalto óptimo debe cumplir los parámetros establecidos en las Tablas 2.11 y 2.12. El flujo y estabilidad Marshall se tienen que medir de acuerdo con el método AASHTO T-245.

Tabla 17: Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T-2459)

Criterios para mezclas método Marshall	Transito liviano carpeta y base		Transito mediano carpeta y base		Tránsito pesado carpeta y base	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad (N)	336	-	5358	-	8006	-
Estabilidad (Lb)	750	-	1200	-	1800	-
Flujo, 0,25 mm (0,01 plg)	8	18	8	16	8	14
% de Vacíos	3	5	3	5	3	5
% V.A.M	Ver tabla 18					
%R.B.V	70	80	65	78	65	75

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas

en caliente, pág. 414

Tabla 18: Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (V.A.M)

Tamaño máximo en mm		V.A.M mínimo, por ciento (%)		
		Vacíos de diseño, por ciento (%)		
mm	Plg	3	4	5
1,18	N°16	21,50	22,50	23,50
2,36	N°8	19,00	20,00	21,00
4,75	N°4	16,00	17,00	18,00
9,50	3/8	14,00	15,00	16,00
12,50	1/2	13,00	14,00	15,00
19,00	3/4	12,00	13,00	14,00
25,00	1,00	11,00	12,00	13,00
37,50	1,50	10,00	11,00	12,00
50,00	2,00	9,50	10,50	11,50
63,00	2,50	9,00	10,00	11,00

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 415.

2.4.5. Ensayos realizados a las mezclas asfálticas compactadas

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

2.4.5.1. Determinación de la gravedad específica Bulk (densidad)

El ensayo de gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas utilizando especímenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma AASHTO T-166-05, para la gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T-275 es aplicada.

Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma AASHTO T-166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T-275.

2.4.5.2. Ensayo de estabilidad y flujo

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. Sumergir el espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocará la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga. Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de 50.8 mm/min (2 plg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall. Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100“) será el valor del flujo Marshall.

2.4.6. Lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba.

2.4.6.1. Bajo contenido de vacíos y estabilidad baja

Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia, proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregado grueso o fino. Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para remplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado V.A.M Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento.

Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse. Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa el Tamiz N° 200. Con la incorporación de arena procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

2.4.6.2. Bajo contenido de vacíos y estabilidad satisfactoria

Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional. Por su parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente.

2.4.6.3. Contenido satisfactorio de vacíos y estabilidad baja

La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.

2.4.6.4. Contenido alto de vacíos y estabilidad satisfactoria.

Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través de la mezcla asfáltica pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible

desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deberán realizar ajustes para reducir los vacíos. Pequeñas reducciones se lograrán mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar o combinar agregados para lograr una graduación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad.

2.4.6.5. Vacíos altos y estabilidad baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales, conforme en 2.4.6.1. y 2.4.6.2.

2.5. Marco referencial

El presente trabajo de investigación está muy influenciado en dos trabajos de investigación realizados.

El primero **“EFECTOS DE LOS FILLERES ACTIVOS EN LA RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”** artículo publicado por **“CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO MÉXICO 2019”**

Mencionado artículo indica que se realizó la investigación para tratar de esclarecer los beneficios que otorga la incorporación de fillers activos a las mezclas asfálticas en caliente, en particular los derivados del incremento de la resistencia al envejecimiento del mastico y los consecuentes efectos sobre propiedades funcionales y mecánicas de las mezclas después de un cierto periodo de servicio.

Se empleo para estas experiencias de simulación una mezcla patrón, con los mismos agregados pétreos y ligante bituminoso, pero variando el tipo y porcentaje de filler de aporte (cal, carbonato de calcio o una composición de ambos).

El segundo **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON NANOCARBONATO DE CALCIO Y NANOARCILLA- LIMA 2022”** investigación publicada por **“FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO”**

Mencionada investigación indica que produce resultados positivos y cumple con las especificaciones de las normativas de dicho país.

2.6. Análisis del investigador

La investigación en cuestión se centra en el análisis de la variación y caracterización del comportamiento mecánico (Estabilidad, fluencia, % de vacíos, % RBV, % de VAM, densidad) de una mezcla asfáltica en caliente a la cual se le adiciona carbonato de calcio como filler. Se llevó a cabo una previa documentación bibliográfica sobre el tema (teoría, historia, antecedentes), estudiando los parámetros de diseño que intervienen en las mezclas; posteriormente se determinaron las propiedades de los materiales que conforman la mezcla mediante una aplicación práctica de ensayos en laboratorio de acuerdo a lo establecido en normas, para así construir y ensayar las briquetas mediante el método Marshall. Para poder realizar el análisis correspondiente al trabajo de investigación, se sigue una metodología de investigación mixta cualitativa y cuantitativa que representa un conjunto de procesos sistemáticos que implican la recolección y el análisis de datos, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada y poder así lograr una mayor comprensión del tema bajo el cual se está realizando el estudio. Dado caso que las propiedades resulten optimizadas por la adición de nuevo filler esta investigación podría dar pie para que se le hagan otro tipo de evaluaciones a este tipo de mezcla ya sea de tipo económico o de otra índole, dando la posibilidad de que se generalice su producción y uso dentro de la infraestructura vial.

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

3.1. Descripción de criterios

3.1.1. Criterio de selección de banco de materiales

Los materiales pétreos utilizados deben cumplir especificaciones técnicas de la norma ASTM D-3515. En el departamento de Tarija existen varias chancadoras las cuales tienen banco de materiales; para esta investigación se utilizará agregados pétreos provenientes de la planta “Chancadora de áridos GARZON”; facilitada por la alcaldía, los agregados de esta chancadora cumplen las especificaciones de la norma ASTM D-3515.

3.1.2. Criterio del uso del carbonato de calcio como filler

Considerando los aspectos: de la disponibilidad continua del material y que tenga las características físicas (tamaño máximo nominal); se usará carbonato de calcio compuesto elaborado por las industrias las cuales usan mármol blanco o piedra caliza como materia prima.

3.1.3. Criterio de la variación del porcentaje de filler

Se respetará los porcentajes de filler por la norma ASTM D-3515 según la faja de diseño considerada, que están comprendidos del 2% al 8%. Para la investigación se usó el porcentaje 2%, 3% y 5% para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico, ya que al variar con un porcentaje mayor de 5% de filler según la curva de diseño supera el 8% que la Norma ASTM D-3515 especifica que es el valor máximo.

3.1.4. Criterio del uso de cemento asfáltico

Se usó el cemento asfáltico convencional 85-100, el cual fue obtenido por la alcaldía de la ciudad de Tarija para realizar esta investigación

Tabla 19: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico

N°	Ensayos	Método		Especificación
		AASHTO	ASTM	
1	Penetración a 25°c	T-49-97	D-5	85-100
2	Punto de inflamación	T-79-96	D-1310-01	>232°c
3	Peso específico	T-229-97	D-71-94	1 – 1,05
4	Ductilidad 25°c	T-51-00	D-113	> 100cm
5	Punto de ablandamiento	T-53-96	D-36	42°C– 53°C

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

3.1.5. Criterio del uso del carbonato de calcio como filler

Se tomo el criterio del número de ensayos de acuerdo a la importancia que tienen en la investigación y considerando los resultados obtenidos mediante el muestreo estratificado tomando un nivel de significancia del 95%; para los agregados pétreos, el cemento asfáltico y filler de carbonato de calcio.

Tabla 20: Ficha técnica carbonato de calcio CaCO₃

Especificación técnica	
Especificación	Resultado
Composición química	
Carbonato de calcio	98,30%
Carbonato de magnesio	1,5%
Óxido de hierro	0,20%
Granulometría	
Tamaño medio de partícula (d50%)	0,9m
Partículas	< 2m:90%
Residuo al tamiz:	45 m:0,01%
Información técnica	
Sinónimo	calcita
Absorción de aceite (ISO 787/5)	27g/100g
Absorción VO (ISO 787/5)	44g/100g
Ph (ISO 787/9)	9,5
Densidad aparente (ISO 787/11)	0,60 g/ml
Presentación/embalaje	
Bolsa	25kg
Breve descripción	
polvo de carbonato de calcio natural, muy fino y fácil de dispersar, obtenido de mármol blanco de muy alta pureza	

Fuente: Hoja técnica (datos obtenidos por el fabricante) **QUÍMICA**

BASSE S.A TINTAS & INSUMOS GRÁFICOS

3.2. Levantamiento de la información

3.2.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

3.2.1.1. Agregados pétreos

Los materiales componentes de la investigación, son provenientes de la planta “Chancadora de áridos GARZÓN” de la ciudad e Tarija ubicada en la comunidad de “SAN MATEO”, la cual está ubicada en las coordenadas: Latitud 21°28'14.51"S y Longitud 64°45'3.91"O.

Se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos a realizarse en laboratorio.

El agregado pétreo proporcionado por la alcaldía de la Ciudad de Tarija tiene las siguientes características; Grava (3/4”), Grava (3/8”), arena triturada, filler natural (material que pasa el Tamiz N°200

Figura 3: Imagen satelital zona de muestreo



Fuente: (Google Earth Pro)

Figura 4: Recolección de agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el Stratura 85-100 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil, el cual fue obtenido por la alcaldía de la ciudad de Tarija para poder realizar esta investigación.

3.2.1.3. Carbonato de calcio

La obtención de Carbonato de Calcio se hizo mediante la compra por internet mediante la Empresa “**QUÍMICA BASSE S.A TINTAS & INSUMOS GRÁFICOS**” la cual está ubicada en el País de Argentina; con ubicación “Güemes 1033(1870) Avellaneda Buenos Aires, Argentina”, con coordenadas: Latitud 34°40'43.78"S, Longitud 58°22'8.18"O

Figura 5: Ubicación empresa QUIMICA BASSE S.A.



Fuente: Elaboración propia (Google Earth Pro)

3.2.2. Ensayos realizados a los agregados

3.2.2.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27; ASTM C-136)

3.2.2.1.1 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadra.

Una propiedad clave de los agregados que se usan en las carreteras es la distribución de los tamaños de partículas al mezclarlos. La graduación de los agregados es la combinación de tamaños de partículas en la mezcla que afecta la densidad, la resistencia, y la economía de la estructura del pavimento.

Procedimiento:

- Seleccionar un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar.
- Colocar los tamices en orden, por tamaño de abertura.
- Limitar la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz durante la operación del tamizado.
- Cuartear la muestra para homogenizar la distribución de sus partículas.
- Determinar el peso de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza, el cual se expresa como un porcentaje de la muestra original, se realizó 3 ensayos.

A la porción de material agregado que queda retenida en la malla N°10 (esto es, con partículas mayores de 2,00mm) se le conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N°10 pero queda retenido en la malla N°200 (partículas mayores que 0,075mm) se le conoce como agregado fino. El material que pasa por la malla N°200 se llama fino y corresponde a impurezas, limo y arcilla. Se realizaron 3 análisis granulométricos por tamizado para cada uno de los agregados, tanto para la grava, gravilla y arena.

Figura 6: Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Datos de las granulometrías de la Grava 3/4"

Grava 3/4"				
Peso total seco		5000 gr		
N° Ensayo		1	2	3
Tamices	Tamaño	Peso retenido (gr)		
	(mm)			
1"	25,4	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	943,40	1063,00	1243,20
1/2"	12,5	2914,20	2423,50	2392,30
3/8"	9,50	794,40	1021,70	933,80
N°4	4,75	348,00	491,80	430,70
N°8	2,36	0,00	0,00	0,00
N°16	1,18	0,00	0,00	0,00
N°30	0,60	0,00	0,00	0,00
N°50	0,30	0,00	0,00	0,00
N°100	0,15	0,00	0,00	0,00
N°200	0,075	0,00	0,00	0,00
BASE	-	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Datos de las granulometrías de la Gravilla 3/8"

Gravilla 3/8"				
Peso total seco		5000 gr		
N° Ensayo		1	2	3
Tamices	Tamaño	Peso retenido (gr)		
	(mm)			
1"	25,40	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,50	91,40	58,60	81,00
3/8"	9,50	53,80	50,40	46,10
N°4	4,75	4345,00	4166,60	4255,80
N°8	2,36	505,80	708,20	642,00
N°16	1,18	4,00	16,20	5,10
N°30	0,60	0,00	0,00	0,00
N°50	0,30	0,00	0,00	0,00
N°100	0,15	0,00	0,00	0,00
N°200	0,08	0,00	0,00	0,00
BASE	-	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Datos de las granulometrías de la arena

Arena				
Peso total seco		5000 gr		
N° Ensayo		1	2	3
Tamices	Tamaño	Peso retenido (gr)		
	(mm)			
1"	25,4	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00
N°4	4,75	66,00	196,00	129,00
N°8	2,36	398,10	494,00	448,00
N°16	1,18	460,10	462,00	466,00
N°30	0,60	815,90	807,00	811,00
N°50	0,30	1460,00	1388,00	1424,90
N°100	0,15	1235,10	1134,00	1194,00
N°200	0,075	477,90	461,00	454,00
BASE	-	86,90	58,00	73,10

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo de la granulometría:

- Para el cálculo se usará el promedio de los ensayos de cada agregado
- se realizará el procedimiento de cálculo para el tamiz 3/4" de la grava 3/4"

P.ret.acum. Tamiz 3/4" = P.ret.acum. Tamiz_{1"} + P.ret. Tamiz_{3/4"} = 0 + 1083,2 = 1083,2 gr.

$$\% \text{Ret.} = \frac{\text{P.ret.acum}_{3/4''}}{\text{Peso total}} * 100 = \frac{1083,2}{5000} * 100 = 21,66 \%$$

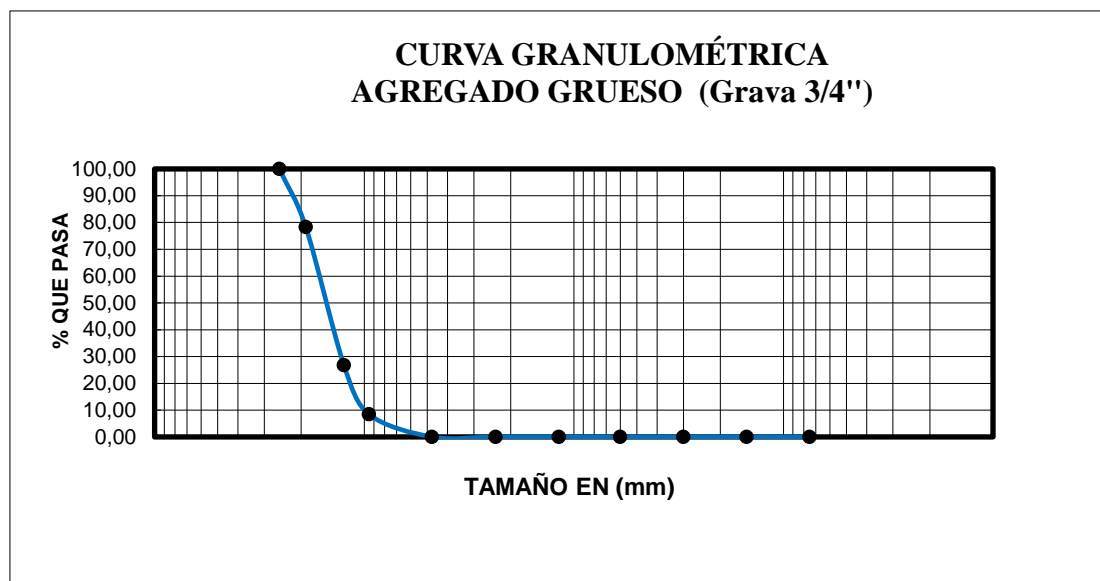
$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \% \text{ Ret.} = 100 - 21,66 = 78,34\%$$

Tabla 24: Resultados granulometría promedio grava 3/4"

Grava 3/4"					
Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa total
	(mm)				
1"	25,4	0,0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	1083,2	1083,20	21,66	78,34
1/2"	12,5	2576,7	3659,87	73,20	26,80
3/8"	9,50	916,6	4576,50	91,53	8,47
Nº4	4,75	423,5	5000,00	100,00	0,00
Nº8	2,36	0,0	5000,00	100,00	0,00
Nº16	1,18	0,0	5000,00	100,00	0,00
Nº30	0,60	0,0	5000,00	100,00	0,00
Nº50	0,30	0,0	5000,00	100,00	0,00
Nº100	0,15	0,0	5000,00	100,00	0,00
Nº200	0,075	0,0	5000,00	100,00	0,00
BASE	-	0,0	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1: Curva granulométrica grava 3/4"



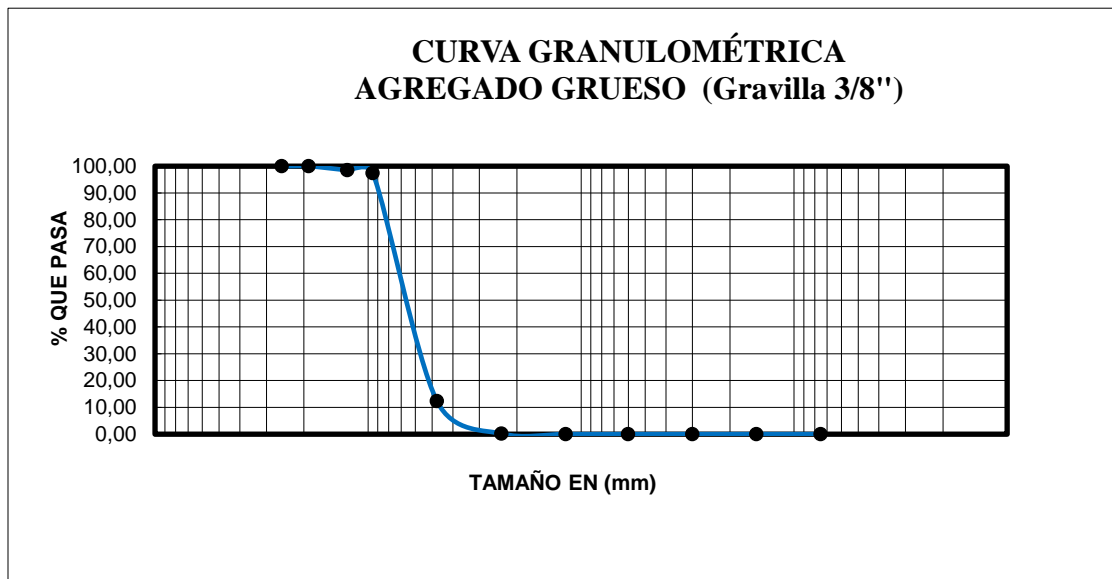
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Resultados granulometría promedio gravilla 3/8"

Gravilla 3/8"					
Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa
	(mm)				
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	75,00	75,00	1,50	98,50
3/8"	9,50	52,10	127,10	2,54	97,46
N°4	4,75	4255,80	4382,90	87,66	12,34
N°8	2,36	607,00	4989,90	99,80	0,20
N°16	1,18	10,10	5000,00	100,00	0,00
N°30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
BASE	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2: Curva granulométrica gravilla 3/8"



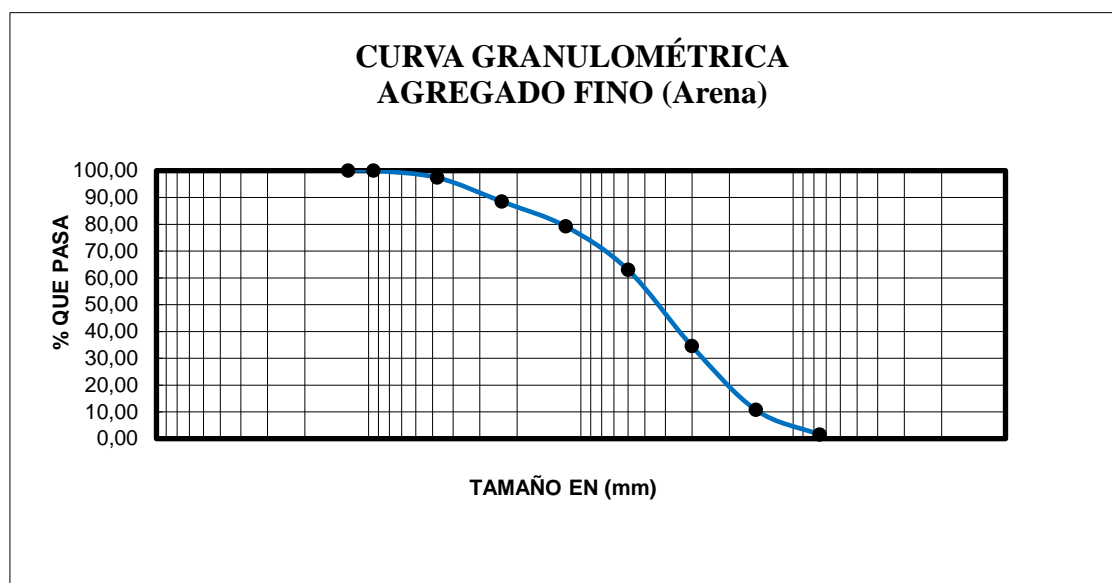
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Resultados granulometría promedio arena

Arena					
Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa
1/2	12,5	0,0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,0	0,00	0,00	100,00
N°4	4,75	130,33	130,33	2,61	97,39
N°8	2,36	446,70	577,03	11,54	88,46
N°16	1,18	462,70	1039,73	20,79	79,21
N°30	0,60	811,30	1851,03	37,02	62,98
N°50	0,30	1424,30	3275,33	65,51	34,49
N°100	0,15	1187,70	4463,03	89,26	10,74
N°200	0,075	464,30	4927,33	98,55	1,45
BASE	-	72,67	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3: Curva granulométrica arena



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles (AASHTO T-96; ASTM C-131)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 a 33rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera, uniforme para mantener una velocidad constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz N°12.

El material retenido en el tamiz N°12 se lava, se seca en el horno durante 24 horas hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original. El método T-96 de AASHTO (ASTM C-131) da un procedimiento detallado para esta prueba.

El tipo de abrasión que se efectuó es de tipo B para la grava mientras que para la gravilla se realizó del tipo C, donde se realizó un solo ensayo para cada uno.

Figura 7: Máquina de desgaste de los ángeles y material ensayado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Datos del ensayo de desgaste de los ángeles para la grava 3/4"

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500 gr
1/2"	3/8"	2500 gr
Retenido tamiz N°12		3626,8 gr
Diferencia		1373,2 gr
Numero de ensayos		1
Tipo de gradación		B
Carga abrasiva		11 esferas a 32,5Rpm
500 revoluciones		

Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Lavado agregado grueso – grava 3/4" (desgaste de los ángeles)



Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{1373,2 \text{ gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 27,46 \%$$

Tabla 28: Datos del ensayo de desgaste de los ángeles para la gravilla 3/8"

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido Tamiz	Peso retenido
3/8"	1/4"	2500 gr
1/4"	N°4	2500 gr
Retenido Tamiz N°12		3655.5 gr
Diferencia		1344.5 gr
Numero de ensayos		1
Tipo de gradación		C
Carga abrasiva		8 esferas a 32,5Rpm
500 revoluciones		

Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Extracción agregado grueso-gravilla 3/8" de maquina desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{1344.5 \text{ gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 26,89 \%$$

3.2.2.3 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85; ASTM C-127)

El peso específico y la absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño de concreto y de mezclas asfálticas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica.

Procedimiento:

- El material a utilizar se debe cuartear y Tamizar por el tamiz N°4.
- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra con agua por un periodo de 24 horas.
- Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con ayuda de un paño o trapo hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
- Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas (superficialmente seco).
- La muestra se vuelve a sumergir en un cesto cilíndrico metálico para poder obtener el peso de la muestra sumergida.
- Se seca la muestra por un periodo de 24 horas en un horno a temperatura constante de 105°C y posteriormente se obtiene el peso de la muestra seca.

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico tanto para la grava 3/4" como para la gravilla 3/8".

Figura 10: Agregado utilizado para el ensayo peso específico



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Ensayo peso específico agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Datos del ensayo de peso específico agregado grueso grava 3/4"

Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	2951,00	3000,00	1849,00
2	2953,10	3000,10	1849,00
3	2954,30	3000,10	1849,00

Fuente: Elaboración propia

Proceso de cálculo para la grava 3/4" para el ensayo 1

$$\text{Peso específico Agregado grueso} = \frac{B}{A-C}$$

$$\text{Peso específico Agregado grueso} = \frac{3000}{2951-1849}$$

$$\text{Peso Específico Agregado grueso} = 2,57 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{3000}{3000-1849}$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = 2,61 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{2951}{2951-1849}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,68 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B-A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{3000-2951}{2951} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,66\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para los ensayos 2 y 3.

Tabla 30: Resultados ensayo peso específico agregado grueso grava 3/4"

Peso específico agregado grueso grava 3/4"				
Muestra	Peso específico a granel	Peso específico saturado con sup. seca	Peso específico aparente	% de absorción
N°	(gr/cm³)	(gr/cm³)	(gr/cm³)	%
1	2,56	2,61	2,68	1,66
2	2,57	2,61	2,67	1,59
3	2,57	2,61	2,67	1,55
Promedio	2,57	2,61	2,68	1,60

Fuente: Elaboración Propia

Para la gravilla 3/8" se realizó el mismo procedimiento de calculo que se hizo para la Grava 3/4".

Tabla 31: Datos del ensayo de peso específico agregado grueso gravilla 3/8"

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	2931,60	3000,00	1847,00
2	2936,20	3000,00	1846,00
3	2935,80	3000,00	1848,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Resultados ensayo peso específico agregado grueso gravilla 3/8"

Peso específico agregado grueso gravilla 3/8"				
Muestra	Peso específico a granel	Peso específico saturado con sup. seca	Peso específico aparente	% de absorción
N°	(gr/cm³)	(gr/cm³)	(gr/cm³)	%
1	2,54	2,60	2,70	2,33
2	2,54	2,60	2,69	2,17
3	2,55	2,60	2,70	2,19
Promedio	2,55	2,60	2,70	2,23

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados fino (AASHTO T-84; ASTM C-128)

El ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico a granel, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Procedimiento

- Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme con ayuda de una secadora.
- Se pesa el matraz vacío.
- Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira esta, si la muestra tiene todavía alguna humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena redara libremente cuando se levante el cono.
- Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de los necesario y que ha perdido su condición de saturada; por lo consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocarla con el cono.

- Se colocan 500 gr de la muestra en el matraz y se pesa, luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se pesa el matraz con la muestra y agua.
- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante 105°C durante 24 horas y luego se pesa.

Figura 12: Peso específico agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Verificación de la humedad de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Datos obtenidos del ensayo peso específico agregado fino

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)
1	500	98,9	987,1	388,20	492,80	500,00
2	500	221,5	1025,9	304,40	492,90	500,00
3	500	176,9	998,8	321,90	492,80	500,00

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo peso específico agregado fino para el ensayo 1

$$\text{Peso específico Agregado grueso} = \frac{A}{V-W}$$

$$\text{Peso específico Agregado grueso} = \frac{492,80}{500-388,20}$$

$$\text{Peso específico agregado grueso} = 4,41 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{500}{V-W}$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = \frac{500}{500-388,20}$$

$$\text{P.E.A. saturado de superficie seca} = 4,47 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{492,80}{(500-388,20)-(500-492,80)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 4,71 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500-492,80}{492,80} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,46\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para los ensayos 2 y 3.

Tabla 34: Resultados del ensayo de peso específico agregado fino

Muestra	Peso específico a granel	Peso específico saturado con sup. seca	Peso específico aparente	% absorción
N°	(gr/cm³)	(gr/cm³)	(gr/cm³)	%
1	4,41	4,47	4,71	1,46
2	2,52	2,56	2,61	1,44
3	2,77	2,81	2,88	1,46
Promedio	2,64	2,68	2,75	1,45

Fuente: Elaboración propia

NOTA: Se descarto el ensayo N°1 por posibles errores al momento de lecturar y anotar los datos.

3.2.2.5. Ensayo de peso unitario agregados (AASHTO T-19; ASTM C-29)

Este ensayo tiene como objeto describir como se puede obtener el peso unitario de los agregados; el peso unitario del agregado puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido.

Procedimiento:

- Se mide las dimensiones del molde cilíndrico para poder determinar el Volumen.
- Se pesa el molde cilíndrico vacío.
- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos, luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.
- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las Partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
- Se pesa el molde junto con el agregado

- Para obtener el peso unitario suelto se procede de la misma manera, pero con la diferencia que ya no se lo apisona.

Figura 14: Peso unitario suelto agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Datos ensayo peso unitario suelto grava 3/4"

Peso unitario suelto grava 3/4"				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5835,00	9977,16	19735,00	13900,00
2	5835,00	9977,16	19725,00	13890,00
3	5835,00	9977,16	19850,00	14015,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Datos ensayo peso unitario compactado grava 3/4"

Peso unitario compactado grava 3/4"				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	5835,00	9977,16	20590,00	14755,00
2	5835,00	9977,16	20545,00	14710,00
3	5835,00	9977,16	20568,00	14733,00

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo para el ensayo 1 Grava 3/4" ensayo 1

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = \frac{\text{Peso agregado suelto seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = \frac{13900}{9977,16}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = 1,393 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = \frac{\text{Peso agregado compactado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = \frac{14755}{9977,16}$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Grava } 3/4'' = 1,477 \text{ gr/cm}^3$$

Para los ensayos 2 y 3 se sigue el mismo procedimiento de cálculo.

Tabla 37: Resultados ensayo peso unitario grava 3/4".

Muestra N°	Peso unitario suelto grava 3/4" (gr/cm ³)	Peso unitario compactado grava 3/4" (gr/cm ³)	Peso unitario grava 3/4" (gr/cm ³)
1	1,393	1,477	1,437
2	1,392	1,474	
3	1,405	1,477	
Promedio	1,397	1,477	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Datos ensayo peso unitario suelto gravilla 3/8"

Peso unitario suelto gravilla 3/8"				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	5835,00	9977,16	20070,00	14235,00
2	5835,00	9977,16	20105,00	14270,00
3	5835,00	9977,16	20080,00	14245,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Datos ensayo peso unitario compactado gravilla 3/8"

Peso unitario compactado gravilla 3/8"				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	5835,00	9977,16	21170,00	15335,00
2	5835,00	9977,16	21205,00	15370,00
3	5835,00	9977,16	21185,00	15350,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Resultado ensayo peso unitario gravilla 3/8"

Muestra N°	Peso unitario suelto gravilla 3/8" (gr/cm ³)	Peso unitario compactado gravilla 3/8" (gr/cm ³)	Peso unitario gravilla 3/8" (gr/cm ³)
1	1,427	1,537	1,483
2	1,430	1,541	
3	1,428	1,539	
Promedio	1,428	1,539	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Datos ensayo peso unitario suelto arena

Peso unitario suelto arena				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)
1	2609,00	2994,06	7250,00	4641,00
2	2609,00	2994,06	7215,00	4606,00
3	2609,00	2994,06	7260,00	4651,00

Elaboración propia

Tabla 42: Datos ensayo peso unitario compactado arena

Peso unitario compactado arena				
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)
1	2609,00	2994,06	7720,00	4815,00
2	2609,00	2994,06	7840,00	4805,00
3	2609,00	2994,06	7930,00	4810,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Resultados ensayo peso unitario arena

Muestra N°	Peso unitario suelto arena (gr/cm ³)	Peso unitario compactado arena (gr/cm ³)	Peso unitario grava 3/4" (gr/cm ³)
1	1,550	1,707	1,646
2	1,538	1,747	
3	1,553	1,777	
Promedio	1,547	1,744	

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.6. Ensayo equivalente de arena (AASHTO T-176; ASTM D-2419)

Este ensayo tiene el objetivo de indicar bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvos de suelos granulares y agregados finos que pasan el Tamiz N°4 (4,75mm). El término “Equivalente de Arena” expresa el concepto de que muchos suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena con arcilla o finos plásticos y polvo no deseables.

Procedimiento:

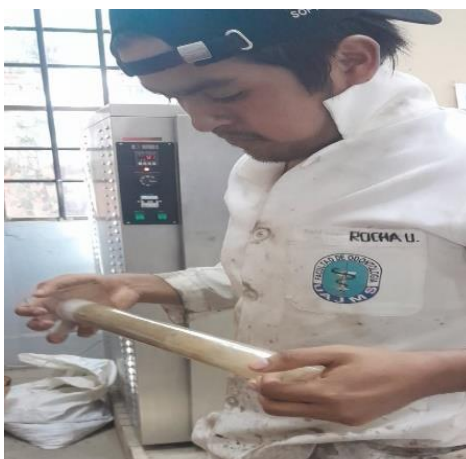
- Se tamiza la muestra de Arena a ensayar por el Tamiz N°4
- Se llena la probeta con arena hasta la medida indicada.
- Se procede a llenar la probeta estándar con la solución de ensayo hasta la marca indicada.
- Se debe golpear el fondo de la probeta con la palma de la mano y se lo agita para expulsar las burbujas de aire y humedecer completamente la muestra.
- Se procede a dejar en reposo tres probetas con las muestras de Arena.
- Se insertar un tapón en la probeta para agitar la muestra durante 3 minutos.
- Se lo deja reposar durante un lapso de 20 a 40 minutos y se lectura.
- A continuación, se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco.

Figura 15: Ensayo equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Procedimiento ensayo equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Datos ensayo equivalente arena

N° de Muestra	H1	H2
	(cm)	(cm)
1	9,30	11,70
2	9,50	11,70
3	9,40	11,40

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo ensayo 1

$$\% \text{ Equivalente Arena} = \frac{\text{Lectura nivel inferior}}{\text{Lectura nivel superior}} * 100\%$$

$$\% \text{ Equivalente Arena} = \frac{11,70}{9,30} * 100 = 79,49 \%$$

Tabla 45: Resultados ensayo equivalente arena

N° de Muestra	Equivalente de arena (%)
1	79,49
2	81,20
3	82,46
Promedio	81,05

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.7. Ensayo porcentaje caras fracturadas (ASTM D-5821)

Este método de prueba cubre la determinación del porcentaje, por masa (peso) o por conteo, de los agregados gruesos en una muestra que consiste en partículas fracturadas que cumplen los requerimientos especificados.

Figura 17: Ensayo caras fracturadas agregado grueso grava 3/4"



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

- 1) Esparza la muestra en un área suficiente grande, para inspeccionar cada partícula, si es necesario lave el agregado sucio. Esto facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.
- 2) Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como “partícula fracturada”. Una partícula se considera como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las producidas por procedimientos mecánicos.
- 3) Se pesará las partículas fracturadas.

Tabla 46: Datos ensayo porcentaje caras fracturadas grava 3/4”

Porcentaje caras fracturadas grava 3/4"	
Ensayo	lecturas
Ensayo N°	1
Peso total (grs) (a)	1000
Peso caras fracturadas (grs) (b)	812,7

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de cálculo:

Peso caras no Fracturadas = Peso total muestra - Peso caras Fracturadas

$$\text{Peso caras no Fracturadas} = 1000 - 812,7$$

$$\text{Peso caras no Fracturadas} = 187,3 \text{ gr}$$

$$\text{Porcentaje caras Fracturadas} = \frac{\text{Peso caras fracturadas}}{\text{Peso total muestra}} * 100$$

$$\text{Porcentaje caras Fracturadas} = \frac{812,7}{1000} * 100$$

$$\text{Porcentaje caras Fracturadas Grava 3/4" = 81,27 \%}$$

Tabla 47: Resultados ensayo porcentaje caras fracturadas grava 3/4"

Porcentaje caras fracturadas grava 3/4"		
Ensayo	lecturas	promedio
Ensayo N°	1	
Peso total (grs) (a)	1000	
Peso caras fracturadas (grs) (b)	812,7	
Caras no fracturadas (grs) (a-b)	187,3	
Porcentaje caras fracturadas (%) = (b/a) *100	81,27	81,3

Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Ensayo caras fracturadas agregado grueso gravilla 3/8"



Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Resultados ensayo porcentaje caras fracturadas gravilla 3/8"

Porcentaje caras fracturadas gravilla 3/8"		
Ensayo	lecturas	promedio
Ensayo N°	1	
Peso total (grs) (a)	1000	
Peso retenido tamiz n°8 (grs) (b)	779,80	
Caras no fracturadas (grs) (a-b)	220,2	
Porcentaje caras fracturadas (%) = (b/a) *100	77,98	78,0

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Ensayos Realizados al filler

3.2.3.1. Ensayo de peso específico del filler convencional y modificado (carbonato de calcio) (AASHTO T-100; ASTM D-854)

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un matraz, la densidad de partículas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm, se debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según el método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de agua de agua en áridos gruesos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de forma detallada de estos ensayos se detallan en los métodos AASHTO T 100 Y ASTM D 854.

Procedimiento

-Calibración de frascos volumétricos:

- Se determina el peso del frasco seco y limpio.
- Se llena de agua en el matraz hasta la mitad de su volumen, luego introducir el matraz en un baño María y someterlo al incremento de calor.
- El baño María de aplicarse hasta que la temperatura dentro del frasco este alrededor de 60 °C, una vez llegado a 60°C se lo llena de agua hasta la marca de enrase.
- Se lee la temperatura la temperatura, tratando de que el termómetro se introduzca al centro del matraz.
- Se baja la temperatura de agua, se debe hacer enfriar el matraz con ayuda de cubos de hielos.
- Se procede a medir el peso del matraz y agua a diferentes temperaturas (en un rango de 15 – 30 °C).

-Peso específico

Se sigue el procedimiento de suelos arcillosos

- Se pesa 80gr. De Filler Convencional y Filler Modificado (Carbonato de Calcio)

- Se introduce la muestra con mucho cuidado en el matraz calibrando previamente y llenar este con agua hasta la mitad.
- Se tiene que extraer todo el aire atrapado dentro de los suelos, para esto se debe rolar el matraz con mucho cuidado.
- Someter el matraz con agua y Filler a baño maría, hasta que alcance una temperatura de 60°C.
- Posteriormente llenar el frasco con agua a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de enrase.
- Pesar el matraz y luego medir la temperatura.
- Someter a enfriamiento el matraz con ayuda de cubos de hielos para posteriormente pesar el matraz más suelo y agua (en un rango de 15 – 30 °C).

Figura 19: Ensayo calibración frasco volumétrico



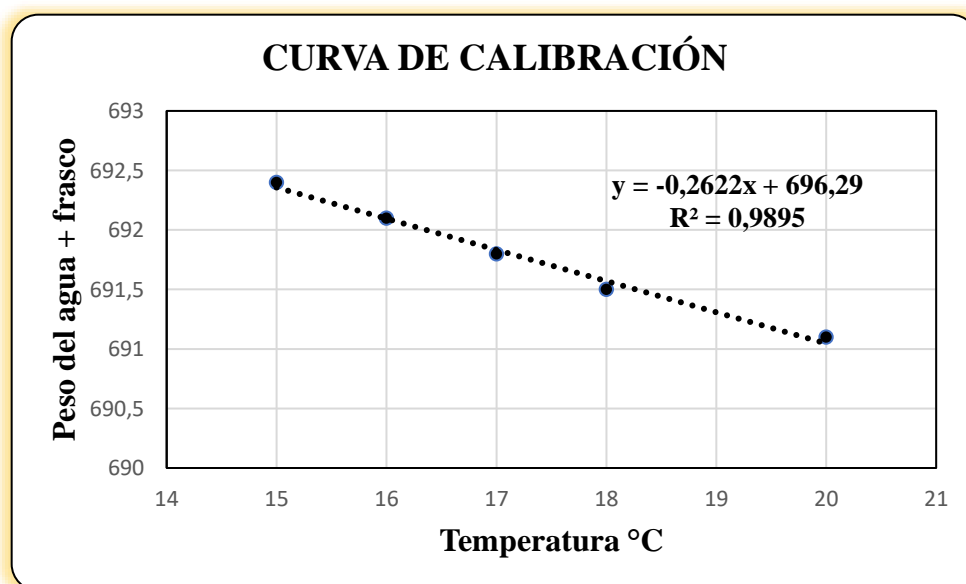
Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Datos calibración frasco volumétrico

T Ensayo	Wfw gr	T °C
1	691,1	20
2	691,5	18
3	691,8	17
4	692,1	16
5	692,4	15

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4: Curva de calibración del frasco volumétrico



Fuente: Elaboración propia

Nota: Se usó el mismo Matraz para el Filler Convencional y Modificado (Carbonato de Calcio)

Figura 20: Realización ensayo peso específico filler convencional



Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Datos ensayo peso específico del filler convencional

Numero de ensayo	1	2	3	4	5
Temperatura de ensayo °C	29	27	25	23	20
peso del suelo seco W_s (gr)	80	80	80	80	80
Peso del frasco + agua W_{fw} (gr)	688,69	689,21	689,74	690,26	691,05
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws} (gr)	739,80	740,20	740,60	741,00	741,30
Peso específico (gr/cm ³)	2,77	2,76	2,75	2,73	2,69
Factor de corrección K	0,9977	0,9983	0,9989	0,9993	1,0000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Resultados ensayo peso específico filler convencional

N°	1	2	3	4	5
Peso Específico (gr/cm ³)	2,76	2,75	2,74	2,73	2,69
Promedio (gr/cm ³)	2,74				

Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Realización ensayo peso específico filler carbonato de calcio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Datos ensayo peso específico del filler modificado (CaCO_3)

Numero de ensayo	1	2	3	4	5
Temperatura de ensayo °C	27	25	23	21	18
peso del suelo seco W_s (gr)	80	80	80	80	80
Peso del frasco + agua W_{fw} (gr)	689,21	689,74	690,26	690,78	691,57
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws} (gr)	741,80	741,60	741,60	741,80	741,40
Peso específico (gr/cm^3)	2,92	2,84	2,79	2,76	2,65
Factor de corrección K	0,99659	0,99713	0,99754	0,99808	1,0004

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Resultados ensayo peso específico filler modificado

N°	1	2	3	4	5
Peso específico (gr/cm^3)	2,91	2,84	2,78	2,75	2,65
Promedio (gr/cm^3)	2,79				

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Ensayos realizados al cemento asfáltico

Para caracterizar y evaluar el comportamiento del cemento asfáltico, es necesario realizar los diversos ensayos, para conocer el comportamiento a escala real, en este capítulo realizaremos una breve descripción de los diversos ensayos sobre el cemento asfáltico.

3.2.4.1. Ensayo de penetración (AASHTO T-49-97; ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia expresada en decimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

Procedimiento.

- Se calienta el cemento asfáltico.
- En recipientes se coloca el cemento asfáltico.
- Se lo deja enfriar por treinta minutos a temperatura ambiente y posteriormente se lo coloca en el baño maría por una hora más a una temperatura de 25°C.
- Una vez transcurrido los tiempos de inmersión, se aproxima el agua del penetrómetro de la muestra.
- Se deja caer la aguja y se controla por 5 segundos y se lee y anota.
- Se repite el procedimiento tres veces.

Figura 22: Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Datos ensayo penetración cemento asfáltico

Descripción		Unidad	1	2	3
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm	100	98	100
	Lectura N°2	mm	95	100	95
	Lectura N°3	mm	100	95	98
	Promedio	mm.	98	98	98

Fuente: Elaboración propia

Resultado: El resultado es el promedio de las tres lecturas de cada ensayo, la cual nos da un valor de 98 mm a 25°C con la aplicación de una carga de 100gr durante 5 segundos.

3.2.4.2. Ensayo de punto de inflamación mediante la copa de Cleveland (AASHTO T-79-96; ASTM D-1310-01)

Este método describe el procedimiento para determinar la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, creando un destello en presencia de una llama libre.

Procedimiento.

- Instalar el equipo junto con el termómetro de 360°C.
- Se llena la Copa de Cleveland con cemento asfáltico.
- Aplicar calor con la ayuda de una llama de fuego.
- El punto de Inflamación se produce cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Figura 23: Realización ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Resultados ensayo punto de inflamación

Ensayo	Unidad	1	2	3	promedio	Especificación	
						mínimo	máximo
Punto de Inflamación	°C	>280	>275	>270	> 275	>232	-

Fuente: Elaboración propia

El resultado es el promedio de los tres ensayos el cual nos da 275°C

3.2.4.3. Ensayo peso específico del cemento asfáltico (AASHTO T-229-97; ASTM D-71-94)

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada.

Procedimiento.

- Se pesa el picnómetro seco y se lo designa como “A”.
- Llenar el picnómetro con agua destilada luego se lo sumerge a baño maría durante 30 minutos, Posteriormente se saca del baño maría y se lo pesa y se los designa como “B”.
- Se calienta cemento asfáltico, se vierte el material al picnómetro hasta la mitad cuidadosamente para evitar que el material toque las paredes del picnómetro, se deja reposar a temperatura durante 30 minutos y luego se lo pesa y se lo designa como “C”.
- Se llena la otra mitad del picnómetro con agua destilada, se lo coloca en un baño maría durante 30 minutos, posteriormente se lo saca del baño maría, se lo pesa y se lo designa como “D”.

Figura 24: Realización ensayo peso específico cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Datos ensayo peso específico cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso picnómetro “A”	grs.	34,5	34,1	35,5
Peso picnómetro + agua (25°C) “B”	grs.	90,3	88,9	90,1
Peso picnómetro + muestra “C”	grs.	62,5	62,6	65,1
Peso picnómetro + agua + muestra “D”	grs.	90,8	90,9	90,5

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Calculo Ensayo 1

$$\text{Peso Específico C.A.} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} * \rho_w * 1$$

$$\text{Peso Específico C.A.} = \frac{62,5-34,5}{(90,3-34,5)-(90,8-62,5)} * 0,997077 * 1$$

$$\text{Peso Específico C.A.} = 1,015 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 57: Resultados ensayo peso específico cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso específico cemento asfáltico	gr/cm ³	1,015	1,072	1,011
Peso específico promedio	gr/cm ³	1,033		

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.4. Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53-96; ASTM D-36)

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

Procedimiento.

- Ensamblar el aparato con los anillos, el termómetro.
- Llenar el anillo con asfalto y colocar en un baño de agua destilada y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados.
- Se calienta el baño a una temperatura determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal.
- Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Figura 25: Ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Resultados ensayo punto de ablandamiento

Descripción	Unidad	1,0	2,0	3,0	promedio	mínimo	máximo
Punto de ablandamiento	°C	44	45	45	45	42	53

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.5. Ensayo de ductilidad (AASHTO T-51-00; ASTM D-113)

El ensayo de ductilidad, da la distancia en centímetros que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos.

Procedimiento.

- El material asfáltico se calienta, hasta que este lo suficientemente fluido para verterlo en los moldes.
- Se vierte el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.
- Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 o 40 minutos,
- Sumergiéndola a continuación en el baño de agua a la temperatura de 25°C durante otros 30 minutos.

- Se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.
- Se lectura la distancia en centímetros en la cual el material asfáltico se rompa en dos.

Figura 26: Ensayo ductilidad cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Resultados ensayo ductilidad cemento asfáltico

Descripción	Unidad	1	2	3	Promedio	Mínimo	Máximo
ductilidad a 25°C	cm.	130	128	155	138	>100	-

Fuente: Elaboración propia

3.3. Resultados del levantamiento de información

3.3.1. Agregados pétreos

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos serán comparados con las especificaciones propuestas por las normas ASTM, AASHTO

Tabla 60: Resultados de la caracterización de los agregados pétreos

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM	AASHTO
		min	max			
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	Grava 3/4"	-	35%	27,46%	C 131	T 96
	Gravilla 3/8"	-	35%	26,89%		
Peso específico y absorción agua agregado gruesos	Grava 3/4"	-	-	2,68 gr/cm ³	C 127	T 85
	Gravilla 3/8"	-	-	2,7 gr/cm ³		
Peso específico y absorción del Filler	Convencional	-	-	2,74 gr/cm ³	D 854	T 100
	Carbonato de calcio	-	-	2,79 gr/cm ³		
Peso específico y absorción agua agregado fino	Arena	-	-	2,75 gr/cm ³	C 128	T 84
Peso Unitario	Grava 3/4"	-	-	1,437 gr/cm ³	C 29	T 19
	Gravilla 3/8"			1,484 gr/cm ³		
	Arena			1,646 gr/cm ³		
Equivalente Arena	Arena	-	-	81,05%	D 2419	T 176
Porcentaje de caras fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	81,27%	D 5821	-
	Gravilla 3/8"	75%		77,98%		

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Cemento asfáltico

Se presenta los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por las normas ASTM, AASHTO

Tabla 61: Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Ensayo	Especificación		Resultado	Norma	
	Mínimo	Máximo		ASTM	AASHTO
Peso específico	1	1,05	1,033	D 71-94	T 229-97
Punto ablandamiento	42	53	45	D 36	T 53-96
Punto inflamación	>232	-	275	D 1310-01	T 79-96
Penetración	85	100	98	D 5	T 49-97
Ductilidad	>100	-	138	D 113	T 51-00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1. Ensayos para la elaboración de mezclas asfálticas.

4.1.1. Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall.

El método Marshall, es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo nominal de 25 mm (1") o menor.

Debido a que la prueba de estabilidad es empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones al procedimiento estándar.

Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D-1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son, la densidad, % de vacíos total y la prueba de estabilidad y fluencia de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en (lb) que un espécimen estándar desarrollara a 60°C cuando es ensayado. El valor de la fluencia es el movimiento total o deformación, en unidades de 0,25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

4.1.2. Franja granulométrica para mezclas asfálticas.

Para la elaboración de una mezcla densa o cerrada, la granulometría de las distintas fracciones de áridos constituyentes de la mezcla (incluyendo el filler en diferentes porcentajes) deben estar comprendidas en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las franjas granulométricas de control. Estas franjas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica del agregado utilizado.

4.1.3. Porcentajes de filler aplicados a la investigación

Según bibliografía de la distribución granulométrica por el método Marshall para mezclas asfálticas con tamaño máximo nominal de 1" se obtiene la siguiente tabla:

De acuerdo a definición Filler es todo material que pasa el tamiz N°200 y según Norma ASTM D-3515, se define que los porcentajes de filler de 2% como mínimo y 8% como máximo, por lo tanto, en la presenta investigación se determinara el porcentaje de Filler mediante el método de "Combinación de tres agregados", el cual se detalla posteriormente, nos da un resultado de 5% de Filler.

Se Utilizará los siguientes porcentajes: 2%, 3% y 5%.

4.1.4. Curva Granulométrica aplicada para el método Marshall.

4.1.4.1. Combinación de tres agregados

A continuación, se muestra el resumen de las granulometrías formada a través del promedio que realizaron.

Tabla 62: Resumen de la granulometría formada

Tamices	tamaño (mm)	Grava *	Gravilla *	Arena *	Filler *
		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	19,0	1083,2	0,0	0,0	0,0
1/2"	12,5	2576,7	75,0	0,0	0,0
3/8"	9,50	916,6	52,1	0,0	0,0
N°4	4,75	423,5	4255,8	130,3	0,0
N°8	2,36	0,0	607,0	446,7	0,0
N°16	1,18	0,0	10,1	462,7	0,0
N°30	0,60	0,0	0,0	811,3	0,0
N°50	0,30	0,0	0,0	1424,3	0,0
N°100	0,15	0,0	0,0	1187,7	0,0
N°200	0,075	0,0	0,0	464,3	0,0
BASE	-	0,0	0,0	72,7	5000,0
Peso total		5000,0	5000,0	5000,0	5000,0

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados proveniente de la planta chancadora de materiales pétreos Garzón, ubicada en San Mateo, para la cual se ha determinado la faja granulométrica de la mezcla convencional mediante la Combinación de tres agregados.

Tabla 63: Porcentaje que pasa de los agregados grueso y fino

Tamiz	(mm)	% QUE PASA			Mínimo	Máximo
		G	F	M		
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	89,17	100,00	100,00	90	100
1/2"	12,5	62,65	100,00	100,00	-	-
3/8"	9,50	52,96	100,00	100,00	56	80
Nº4	4,75	6,17	97,39	100,00	35	65
Nº8	2,36	0,10	88,46	100,00	23	49
Nº16	1,18	0,00	79,21	100,00	-	-
Nº30	0,60	0,00	62,98	100,00	-	-
Nº50	0,30	0,00	34,49	100,00	5	19
Nº100	0,15	0,00	10,74	100,00	-	-
Nº200	0,075	0,00	1,45	100,00	2	8

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de Cálculo

$$G \cdot a + F \cdot b + M \cdot c = P \text{ Ec. 1}$$

$$a + b + c = 1 \text{ Ec. 2}$$

Donde:

P: media de la especificación

G: % que pasa Agregado Grueso

F: % que pasa Agregado Fino (Arena)

M: % que pasa Agregado Fino (Filler)

a: Cantidad de Material G requerido en la mezcla, en %

b: Cantidad de Material F requerido en la mezcla, en %

c: Cantidad de Material M requerido en la mezcla, en %

Se analiza en el tamiz N°8

$$a = \frac{P-F}{G-F} = \frac{36 - 88,46}{0,10 - 88,46} = 0,59 = 59\%$$

Reemplazando a en Ec. 2

$$b = 0,406 - c \text{ Ec. 3}$$

Reemplazando Ec. 3 en Ec.1 analizando en el Tamiz N°200

$$G*a + F*b + M*c = P$$

$$0*0,594 + 1,45*(0,406 - c) + 100*c = 5$$

$$c = 0,045 = 0,05 = 5\%$$

Reemplazando a y c en Ec. 2

$$b = 1 - a - c = 1 - 0,59 - 0,05 = 0,36 = 36\%$$

Tabla 64: Combinación de agregados resultante

Combinación de agregado	
a	59%
b	36%
c	5%

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la combinación de tres agregados se obtuvo el porcentaje de cada agregado para el diseño de la curva granulométrica: “a” está compuesto del 59% de agregado grueso, el cual se dividirá 29% para Grava 3/4" y 30% para Gravilla 3/8"; “b” está compuesto del 36% para agregado fino (Arena); “c” está compuesto del 5% para agregado fino (Filler), asumiendo el 5% como valor máximo del % Filler.

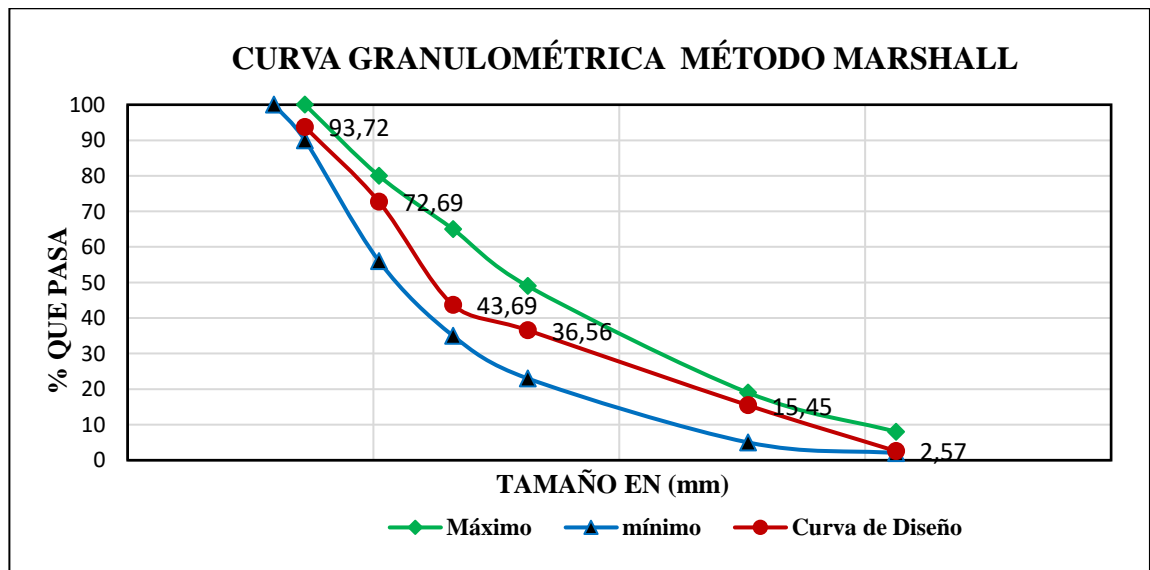
Para la realización del Metodo Marshall se adoptará 3 % de filler: se usará 2%, 3% y 5 de Filler.

Tabla 65: Distribución granulométrica para 2% filler

Tamices	tamaño (mm)	DOSIFICACIÓN				CURVA DE DOSIFICACIÓN				Especificaciones	
		Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		29,00	30,00	39,00	2,00	100,00				Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	314,13	0,00	0,00	0,00	314,13	314,13	6,28	93,72	90	100
1/2"	12,5	747,23	22,50	0,00	0,00	769,73	1083,86	21,68	78,32	-	-
3/8"	9,50	265,82	15,63	0,00	0,00	281,45	1365,32	27,31	72,69	56	80
Nº4	4,75	122,82	1276,74	50,83	0,00	1450,39	2815,70	56,31	43,69	35	65
Nº8	2,36	0,00	182,10	174,21	0,00	356,31	3172,01	63,44	36,56	23	49
Nº16	1,18	0,00	3,03	180,45	0,00	183,48	3355,50	67,11	32,89	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	316,41	0,00	316,41	3671,90	73,44	26,56	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	555,48	0,00	555,48	4227,38	84,55	15,45	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	463,20	0,00	463,20	4690,58	93,81	6,19	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	181,08	0,00	181,08	4871,66	97,43	2,57	2	8
BASE	-	0,00	0,00	28,34	100,00	128,34	5000,00	100,00	0,00	-	-
PESO TOTAL		1450,00	1500,00	1950,00	100,00	5000,0					

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5: Curva granulométrica para 2% filler



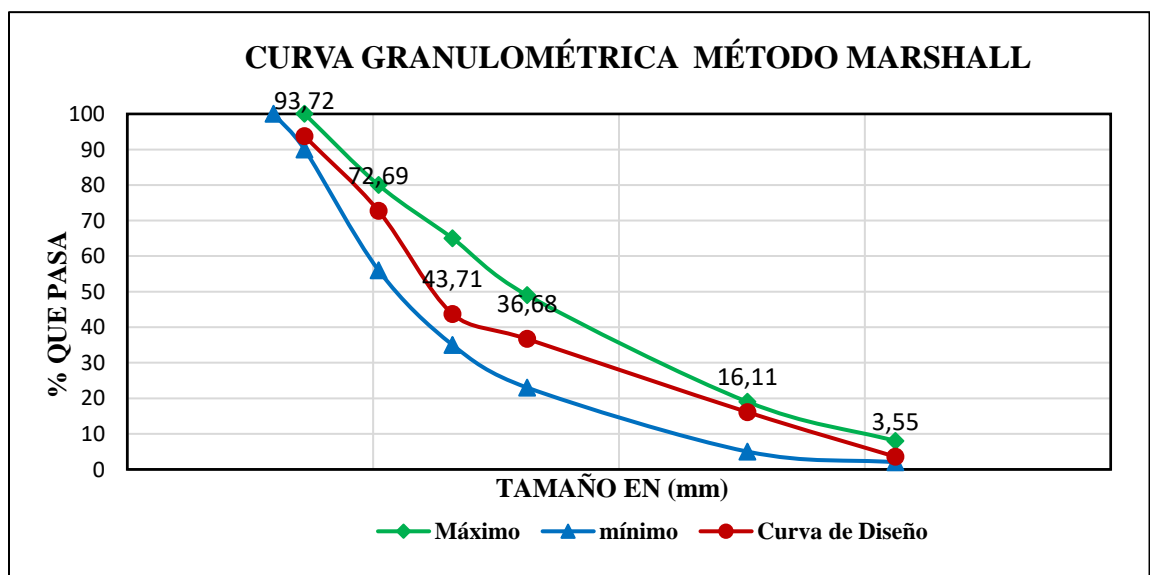
Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Distribución granulométrica para 3% filler

Tamices	tamaño (mm)	DOSIFICACIÓN				CURVA DE DOSIFICACIÓN				Especificaciones	
		Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		29,00	30,00	38,00	3,00	100,00				Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	314,13	0,00	0,00	0,00	314,13	314,13	6,28	93,72	90	100
1/2"	12,5	747,23	22,50	0,00	0,00	769,73	1083,86	21,68	78,32	-	-
3/8"	9,50	265,82	15,63	0,00	0,00	281,45	1365,32	27,31	72,69	56	80
Nº4	4,75	122,82	1276,74	49,53	0,00	1449,08	2814,40	56,288	43,712	35	65
Nº8	2,36	0,00	182,10	169,75	0,00	351,85	3166,24	63,32	36,68	23	49
Nº16	1,18	0,00	3,03	175,83	0,00	178,86	3345,10	66,90	33,10	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	308,29	0,00	308,29	3653,39	73,07	26,93	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	541,23	0,00	541,23	4194,63	83,89	16,11	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	451,33	0,00	451,33	4645,95	92,92	7,08	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	176,43	0,00	176,43	4822,39	96,45	3,55	2	8
BASE	-	0,00	0,00	27,61	150,00	177,61	5000,00	100,00	0,00	-	-
PESO TOTAL		1450,00	1500,00	1900,00	150,00	5000,0					

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6: Curva granulométrica para 3% filler



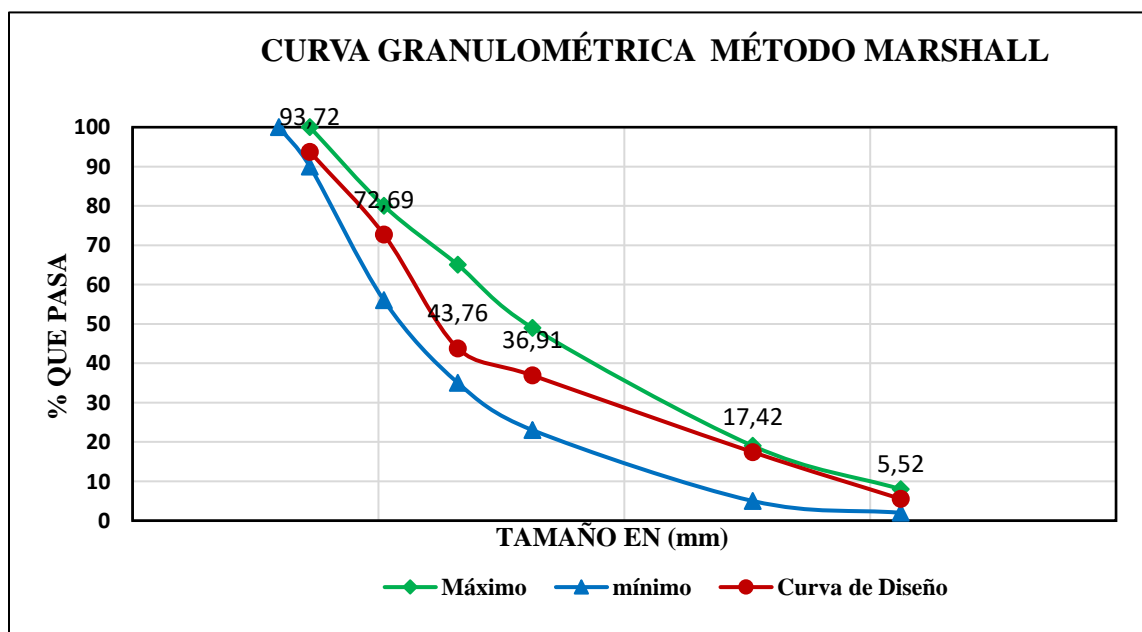
Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Distribución granulométrica para 5% filler

Tamices	tamaño (mm)	DOSIFICACIÓN				CURVA DE DOSIFICACIÓN				Especificaciones	
		Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret. (%)	Ret. Acum (%)	% Ret	% que pasa del total	ASTM D3515	
		29,00	30,00	36,00	5,00	100,00				Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	314,13	0,00	0,00	0,00	314,13	314,13	6,28	93,72	90	100
1/2"	12,5	747,23	22,50	0,00	0,00	769,73	1083,86	21,68	78,32	-	-
3/8"	9,50	265,82	15,63	0,00	0,00	281,45	1365,32	27,31	72,69	56	80
Nº4	4,75	122,82	1276,74	46,92	0,00	1446,48	2811,79	56,236	43,764	35	65
Nº8	2,36	0,00	182,10	160,81	0,00	342,91	3154,70	63,09	36,91	23	49
Nº16	1,18	0,00	3,03	166,57	0,00	169,60	3324,30	66,49	33,51	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	292,07	0,00	292,07	3616,37	72,33	27,67	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	512,75	0,00	512,75	4129,12	82,58	17,42	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	427,57	0,00	427,57	4556,69	91,13	8,87	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	167,15	0,00	167,15	4723,84	94,48	5,52	2	8
BASE	-	0,00	0,00	26,16	250,00	276,16	5000,00	100,00	0,00	-	-
PESO TOTAL		1450,00	1500,00	1800,00	250,00	5000,0					

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7: Curva granulométrica para 5% filler



Esta dosificación para la curva granulométrica será utilizada para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico 85/100.

4.1.5. Determinación del contenido de asfalto.

La estimación del contenido mínimo de asfalto es de una gran ayuda, y se realiza utilizando la relación propuesta por el instituto del asfalto, ya que proporciona un valor de asfalto mínimo teórico y a partir de este se establecen los demás porcentajes de asfalto para el diseño.

4.1.5.1. Cálculo del contenido mínimo de asfalto método instituto del asfalto

$$P = 0,032 * a + 0,045 * b + K * c + n$$

Donde:

P: porcentaje de asfalto estimado por peso total de la mezcla

a: porcentaje de material pétreo retenido en el tamiz N°10

b: porcentaje de material que pasa el tamiz N°10 y se retiene en la N°200

c: porcentaje de material que pasa la malla N°200

K: factor que depende del valor de “c”.

n: factor que varía según el tipo de material pétreo y su absorción.

Procedimiento de cálculo:

Se realizará el procedimiento de cálculo para el 2% Filler.

a: 63,44%

b: 36.56%

c: 2,57%

c < 5% por tanto K = 0,15

n: 0,70

$$P = 0,032 * a + 0,045 * b + K * c + n$$

$$P = 0,032 * 63,44 + 0,045 * 36,56 + 0,15 * 2,57 + 0,70$$

$$P = 4,76 \%$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para los diferentes tipos de filler 3% y 5% respectivamente.

4.1.6. Dosificación con diferentes porcentajes de filler

El contenido aproximado de asfalto es 4,76% = 5%; partiendo de este valor se varía 0,5% por debajo y 0,5% por encima obteniendo la siguiente dosificación con los siguientes porcentajes 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% y 6,5%.

El tipo de mezcla elaborada será en caliente con una temperatura de mezclado de 160 °C, se realizará la cantidad de 3 briquetas por cada porcentaje de estudio. La experiencia ha demostrado que las mezclas de agregados y cemento asfáltico de 1200 gramos de peso permiten obtener muestras compactadas de 2,5 ± 0,01 pulgadas de altura. Por lo tanto, para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de cada fracción de agregado y asfalto para alcanzar dicho peso. Con los diseños granulométricos se procede a realizar las dosificaciones.

Tabla 68: Dosificación para 2% filler

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Porcentaje de Agregado (%)	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de Grava (gr) *	334,08	332,34	330,60	328,86	327,12	325,38
Peso de Gravilla (gr) *	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de Arena (gr) *	449,28	446,94	444,60	442,26	439,92	437,58
Peso de Filler (gr) *	23,04	22,92	22,80	22,68	22,56	22,44
Peso total de la briketa (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Dosificación para 3% filler

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Porcentaje de Agregado (%)	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de Grava (gr) *	334,08	332,34	330,60	328,86	327,12	325,38
Peso de Gravilla (gr) *	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de Arena (gr) *	437,76	435,48	433,20	430,92	428,64	426,36
Peso de Filler (gr) *	34,56	34,38	34,20	34,02	33,84	33,66
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Dosificación para 5% filler

Porcentaje de Cemento asfáltico (%)	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
Porcentaje de Agregado (%)	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de Grava (gr) *	334,08	332,34	330,60	328,86	327,12	325,38
Peso de Gravilla (gr) *	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de Arena (gr) *	414,72	412,56	410,40	408,24	406,08	403,92
Peso de Filler (gr) *	57,60	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Determinada las cantidades necesarias de agregado para cada porcentaje de cemento asfáltico se procede a realizar la mezcla asfáltica en caliente:

4.1.7. Procedimiento para la fabricación de briquetas

Una vez obtenido la dosificación del agregado y el porcentaje de asfalto, se procede a pesar el agregado en las proporciones indicadas, se lo separa en bolsas para posteriormente realizar la mezcla asfáltica en caliente, de igual manera con el cemento asfáltico.

Figura 27: Pesaje de agregado para elaboración de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Calentamiento del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Una vez pesado y separado el agregado, calentado y pesado del cemento asfáltico en taras se mezclan los agregados y se colocan en una bandeja, se vierte sobre los agregados el cemento asfáltico, se mezcla el cemento asfáltico con los agregados, hasta obtener una mezcla homogénea, deberá evitarse que la temperatura de mezclado sobrepase los 160 °C y también evitar el recalentamiento de la mezcla.

Figura 29: Mezclado de materiales y control de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se vierte la mezcla obtenida en un molde de dimensiones especificadas, en 3 capas de 25 golpes cada una, antes de verter la mezcla al molde, se lo coloca papel con lubricante o aceite para evitar que se pegue a las paredes del molde

Se introduce el molde a la maquina compactadora la cual tiene un martillo especial de un disco circular que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18”

Figura 30: Preparacion del molde con la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Para la compactación se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron un total de 90 briquetas. Una vez compactado se dejó enfriar el molde a temperatura ambiente durante 10 minutos y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Figura 31: Compactado de la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Extracción de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Una vez extraída se identifica las briquetas.

Figura 33: Briquetas con distintos porcentajes de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

4.2. Ensayos de control de resultados de las mezclas asfálticas (briquetas)

Una vez realizada la elaboración de las briquetas, luego de 24 horas, se procede a realizar la toma de datos volumétricos y la rotura de las mismas.

4.2.1. Determinación de la densidad, % vacíos total

Se determina el peso de la briqueta en seco, posteriormente se deja sumergido en agua por un tiempo mínimo de 10 minutos a una temperatura de 25°C determinando así el peso de la briqueta sumergida, se saca del agua, se seca con un paño hasta que la superficie este parcialmente seca y se determina el peso de la briqueta superficialmente seca.

Figura 34: Determinación peso seco briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Determinación peso sumergido briqueta



Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Determinación peso superficialmente seco briqueta



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de calculo

Se realizará el procedimiento de cálculo para las briquetas con porcentaje de cemento asfáltico 4,0% con 2% Filler.

-Volumen de la Briqueta

$$\text{Vol. briqueta} = P.\text{superf.seco} - P.\text{sumergido}$$

$$\text{Vol. briqueta} = 1173,1 - 654 = 519,1 \text{ cm}^3$$

-Densidad real de la Briqueta

$$\text{Densidad real} = \frac{P.\text{ seco}}{\text{Vol. briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1170,8}{519,1} = 2,26 \text{ gr/cm}^3$$

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se realizó 3 briquetas, la densidad real será el promedio de las 3 briquetas.

-Densidad Maxima Teórica de la Briqueta

$$\% \text{base agregados} = \frac{\% \text{base mezcla} * 100}{100 - \% \text{base mezcla}}$$

$$\% \text{base agregados} = \frac{4 * 100}{100 - 4} = 4,17\%$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\frac{\% \text{base agregado}}{\text{Peso Específico asfalto}} + \frac{100 - \% \text{base agregado}}{\text{Peso Específico agregado}}}$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\frac{4,17}{1,033} + \frac{100 - 4,17}{2,71}} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

-Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Total (Vv)

$$\% \text{Vacíos (Vv)} = \frac{\text{Densidad maxima teórica} - \text{Densidad real promedio}}{\text{Densidad maxima teórica}} * 100$$

$$\% \text{Vacíos} = \left(\frac{2,54 - 2,24}{2,54} \right) * 100 = 11,76\%$$

-Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (V.A.M.)

$$V.A.M = \%Vacíos + \frac{\%base\ mezcla * Densidad\ real\ promedio}{Peso\ específico\ asfalto}$$

$$V.A.M = 11,76 + \frac{4 * 2,24}{1,033} = 20,07\%$$

-Relación Betumen Vacíos (R.B.V)

$$R.B.V = \frac{V.A.M - \%Vacíos}{V.A.M} * 100$$

$$R.B.V = \frac{20,07 - 11,76}{20,07} * 100 = 41,40\%$$

4.2.2. Determinación de la estabilidad y fluencia

Con un Vernier se determina la altura de las briquetas, midiendo un mínimo de 4 alturas para poder obtener un promedio.

Figura 37: Determinación de altura de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el pesaje y mediciones de alturas de las briquetas, se llevan las muestras a un baño maría a 60°C durante 30 minutos.

Figura 38: Baño María a 60°C



Fuente: Elaboración propia

Se saca la muestra del baño maría y se la coloca en las mordazas y se aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm por minuto, hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. Se anota el valor obtenido al momento de la rotura de la muestra a 60°C.

Figura 39: Rotura de briquetas en el equipo Marshall



Fuente: Elaboración propia

Se debe colocar el dial el cual mide la fluencia (deformación) y anotar el valor obtenido cuando alcanza la carga máxima.

Figura 40: Briquetas después de la rotura



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de calculo

Se realizará el procedimiento de cálculo para las briquetas con porcentaje de cemento asfáltico 4,0% con 2% Filler.

-Estabilidad

$$\text{Estabilidad(lb)}=(0,012*\text{lectura dial(mm)}-0,0812)*102*2,2$$

$$\text{Estabilidad(lb)}=(0,012*815-0,0812)*102*2,2=2176,4 \text{ libras(lb)}$$

$$\text{Estabilidad real corregida(lb)}=\text{Estabilidad}*\text{factor de corrección}$$

$$\text{Estabilidad real corregida(lb)}=2176,4*0,95=2069,1 \text{ lb}$$

Se realizo 3 briquetas para cada porcentaje, la estabilidad real será el promedio de las 3 briquetas.

-Fluencia

Este valor mide la deformación total que la muestra experimenta desde el inicio de la carga hasta el punto de maxima carga

4.3. Resultados obtenidos del ensayo Marshall para mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de filler

Tabla 71: Resultados ensayo Marshall con 2% filler

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,00	4,17	6,56	1170,8	1173,1	654	519,1	2,26	2,24	2,54	11,76	20,07	41,40	815	2176,4	0,95	2069,11	2118,68	10	10,33	
2			6,41	1178,0	1179,8	650	529,8	2,22						832	2222,2	0,99	2188,86		10		
3			6,47	1175,0	1177,4	655	522,4	2,25						810	2162,9	0,97	2098,06		11		
4	4,50	4,71	6,51	1176,5	1177,6	660	517,6	2,27	2,27	2,52	9,89	19,47	49,21	908	2426,8	0,96	2329,77	2327,11	11	11,00	
5			6,56	1170,8	1173,9	665	508,9	2,30						915	2445,7	0,95	2325,12		10		
6			6,54	1173,7	1175,8	652	523,8	2,24						912	2437,6	0,95	2326,46		12		
7	5,00	5,26	6,42	1174,1	1176,0	665	511,0	2,30	2,28	2,50	8,66	19,44	55,43	952	2545,3	0,98	2500,78	2442,28	13	12,33	
8			6,57	1171,3	1174,6	665	509,6	2,30						945	2526,5	0,95	2397,12		14		
9			6,53	1186,1	1188,3	662	526,3	2,25						950	2539,9	0,96	2428,94		10		
10	5,50	5,82	6,65	1193,4	1199,2	670	529,2	2,26	2,30	2,48	7,40	19,39	61,82	952	2545,3	0,93	2376,82	2454,25	13	14,00	
11			6,44	1162,1	1166,0	665	501,0	2,32						960	2566,9	0,98	2509,11		14		
12			6,47	1171,3	1175,6	669	506,6	2,31						955	2553,4	0,97	2476,80		15		
13	6,00	6,38	6,33	1177,7	1179,9	665	514,9	2,29	2,29	2,46	6,92	19,99	65,37	915	2445,7	1,01	2457,92	2430,59	14	15,67	
14			6,45	1185,2	1187,9	670	517,9	2,29						932	2491,5	0,98	2429,18		17		
15			6,36	1165,9	1169,3	660	509,3	2,29						902	2410,7	1,00	2404,66		16		
16	6,50	6,95	6,39	1175,5	1177,6	660	517,6	2,27	2,280	2,44	6,48	20,62	68,58	850	2270,7	0,99	2247,95	2319,81	18	18,00	
17			6,29	1177,3	1178,4	660	518,4	2,27						852	2276	1,02	2312,46		17		
18			6,34	1174,0	1175,8	665	510,8	2,30						895	2391,8	1,00	2399,01		19		
ESPECIFICACIONES			mínimo									3	13	75	1800					8	
			máximo									5	-	82	-					16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Resultados ensayo Marshall con 3% filler

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección altura probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,00	4,17	6,51	1172,6	1174,4	654	520,4	2,25	2,25	2,54	11,42	19,77	42,25	886	2367,6	0,96	2272,90	2093,81	9	11,33	
2			6,51	1153,4	1154,8	640	514,8	2,24						762	2033,7	0,96	1952,34		13		
3			6,48	1167,0	1168,3	652	516,3	2,26						796	2125,2	0,97	2056,18		12		
4	4,50	4,71	6,46	1172,4	1175,4	662	513,4	2,28	2,28	2,52	9,45	19,09	50,50	984	2631,5	0,97	2559,13	2363,25	11	10,67	
5			6,39	1168,1	1169,6	666	503,6	2,32						895	2391,8	0,99	2367,92		10		
6			6,61	1164,7	1169,0	650	519,0	2,24						860	2297,6	0,94	2162,72		11		
7	5,00	5,26	6,37	1160,2	1162,9	655	507,9	2,28	2,31	2,50	7,57	18,52	59,09	958	2561,5	1,00	2548,67	2598,37	10	11,00	
8			6,26	1157,8	1160,2	659	501,2	2,31						954	2550,7	1,02	2611,93		12		
9			6,27	1172,4	1173,7	672	501,7	2,34						965	2580,3	1,02	2634,52		11		
10	5,50	5,82	6,13	1151,4	1152,4	665	487,4	2,36	2,32	2,48	6,38	18,54	65,57	945	2526,5	1,06	2683,12	2653,64	8	11,67	
11			6,23	1173,5	1174,3	655	519,3	2,26						936	2502,2	1,03	2582,31		15		
12			6,14	1149,6	1151,2	660	491,2	2,34						952	2545,3	1,06	2695,50		12		
13	6,00	6,38	6,21	1153,1	1155,0	660	495,0	2,33	2,33	2,46	5,42	18,75	71,11	990	2647,7	1,04	2745,61	2604,74	13	13,33	
14			6,29	1176,9	1178,0	670	508,0	2,32						896	2394,5	1,02	2432,84		12		
15			6,24	1167,9	1169,3	668	501,3	2,33						958	2561,5	1,03	2635,76		15		
16	6,50	6,95	6,10	1152,3	1152,4	655	497,4	2,32	2,31	2,44	5,16	19,54	73,60	832	2222,2	1,07	2379,96	2420,96	16	16,00	
17			6,20	1171,1	1171,9	656	515,9	2,27						848	2265,3	1,04	2355,88		17		
18			6,10	1156,7	1157,2	665	492,2	2,35						883	2359,5	1,07	2527,05		15		
ESPECIFICACIONES			mínimo						3	13	75						1800	8			
			máximo						5	-	82						-	16			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73: Resultados ensayo Marshall con 5% filler

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	4,00	4,17	6,51	1177,2	1180,4	670	510,4	2,31	2,32	2,54	8,91	17,59	49,35	1025	2741,9	0,96	2632,22	2703,26	12	11,67	
2			6,43	1175,4	1177,3	671	506,3	2,32						1045	2795,8	0,98	2739,84		10		
3			6,36	1179,6	1181,1	672	509,1	2,32						1026	2744,6	1,00	2737,73		13		
4	4,50	4,71	6,31	1158,2	1163,9	668	495,9	2,34	2,35	2,52	6,67	16,70	60,09	1062	2841,5	1,01	2872,79	2876,69	13	13,33	
5			6,51	1151,3	1154,4	670	484,4	2,38						1061	2838,8	0,96	2725,29		13		
6			6,29	1164,5	1165,6	669	496,6	2,34						1115	2984,3	1,02	3032,00		14		
7	5,00	5,26	6,49	1158,2	1160,2	675	485,2	2,39	2,38	2,50	4,86	16,22	70,02	1020	2728,4	0,97	2632,94	2968,12	15	14,67	
8			6,34	1172,8	1174,3	679	495,3	2,37						1115	2984,3	1,00	2993,20		15		
9			6,29	1169,7	1171,6	680	491,6	2,38						1205	3226,6	1,02	3278,23		14		
10	5,50	5,82	6,33	1149,9	1152,4	667	485,4	2,37	2,39	2,48	3,75	16,33	77,05	1147	3070,4	1,01	3085,77	3020,24	19	16,33	
11			6,48	1174,3	1177,1	688	489,1	2,40						1145	3065	0,97	2965,42		17		
12			6,37	1170,9	1173,3	683	490,3	2,39						1130	3024,6	1,00	3009,52		13		
13	6,00	6,38	6,34	1188,8	1190,7	678	512,7	2,32	2,36	2,46	3,90	17,50	77,71	1105	2957,3	1,00	2966,19	2970,26	17	18,67	
14			6,28	1171,1	1173,4	681	492,4	2,38						1152	3083,9	1,02	3142,48		19		
15			6,25	1175,8	1173,9	682	491,9	2,39						1020	2728,4	1,03	2802,10		20		
16	6,50	6,95	6,34	1186,8	1188,9	675	513,9	2,31	2,34	2,44	4,22	18,77	77,55	1042	2787,7	1,00	2796,04	2908,93	22	21,67	
17			6,28	1170,1	1172,4	670	502,4	2,33						1152	3083,9	1,02	3142,48		21		
18			6,25	1173,8	1175,9	680	495,9	2,37						1015	2715	1,03	2788,27		22		
ESPECIFICACIONES			mínimo						3	13	75						1800		8		
			máximo						5	-	82						-		16		

Fuente: Elaboración Propia

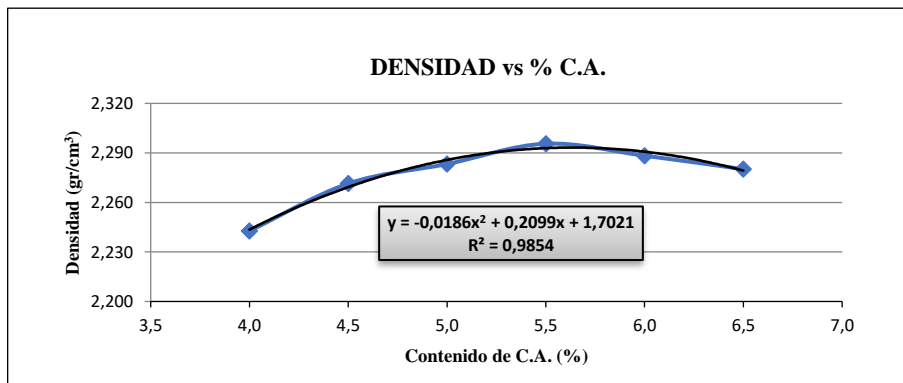
Nota: Se descarto los Resultados obtenidos para los porcentajes de 2% y 3% de Filler debido a que no cumple las especificaciones para el % de vacíos el cual está comprendido entre 3% como valor mínimo y 5% como valor máximo.

4.4. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico

El contenido óptimo de asfalto se determina a partir de los datos obtenidos anteriormente, considerando los resultados de las curvas correspondiente a Estabilidad, Densidad y Porcentaje de Vacíos, en las cuales se determina el contenido de asfalto para conseguir:

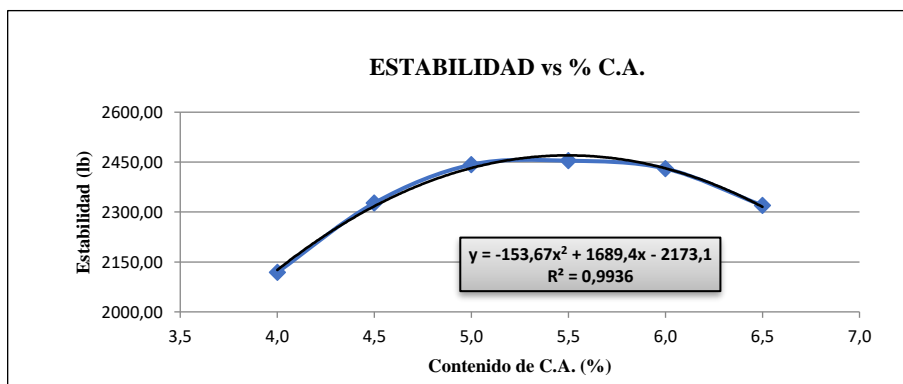
- Estabilidad Maxima.
- Densidad Maxima.
- El valor medio del porcentaje de vacíos según especificación.

Gráfica 8: Curva densidad-cemento asfáltico (%) con 2% filler



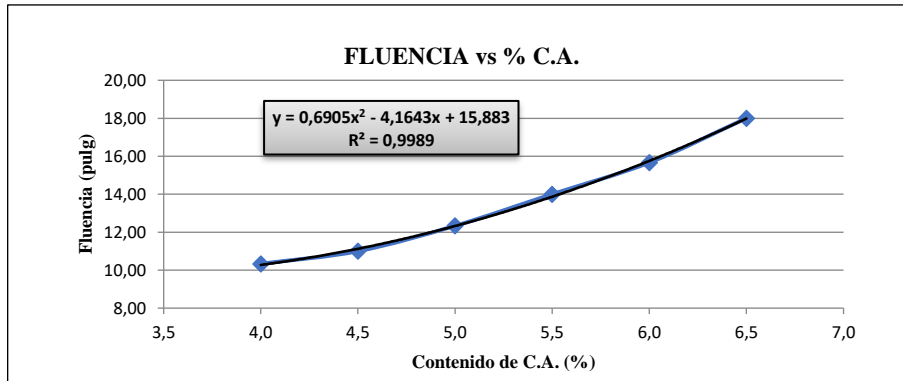
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9: Curva estabilidad-cemento asfáltico (%) con 2% filler



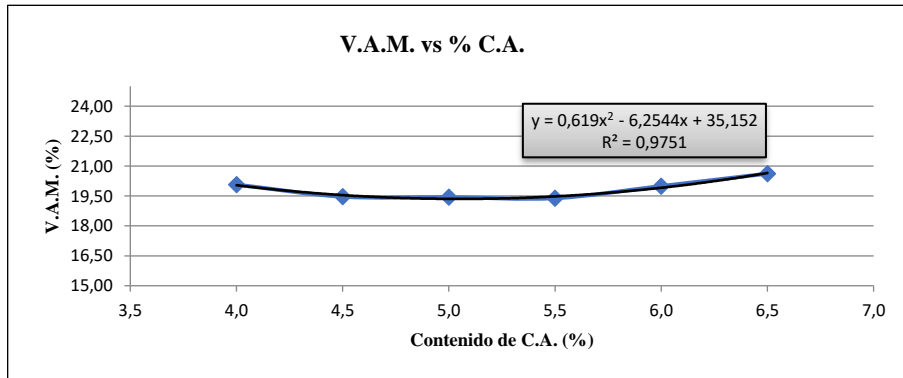
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10: Curva fluencia-cemento asfáltico (%) con 2% filler



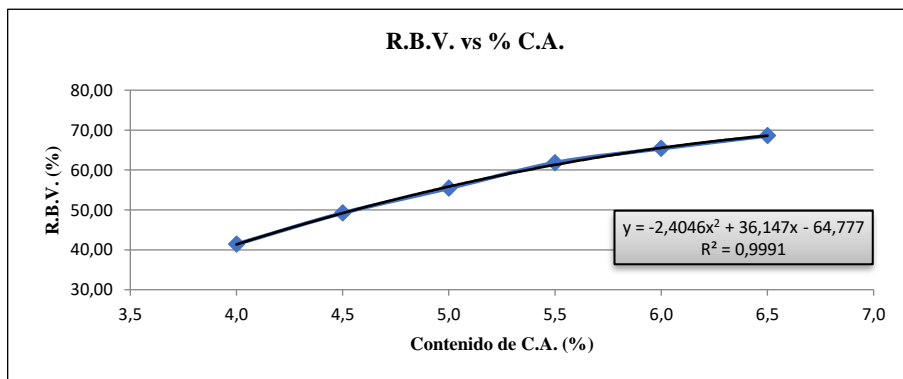
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11: Curva V.A.M-cemento asfáltico (%) con 2% filler



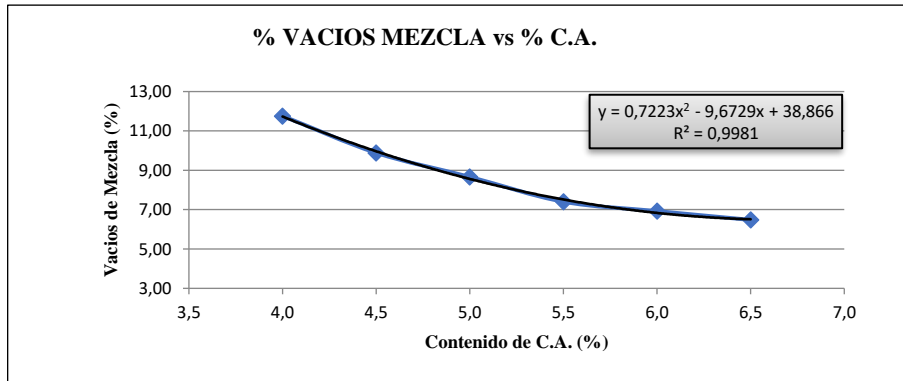
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 12: Curva R.B.V-cemento asfáltico (%) con 2% filler



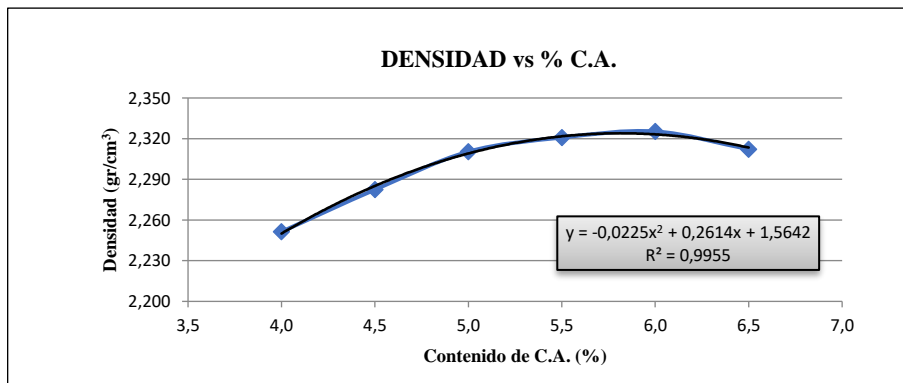
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13: Curva % Vacíos-cemento asfáltico (%) con 2% filler



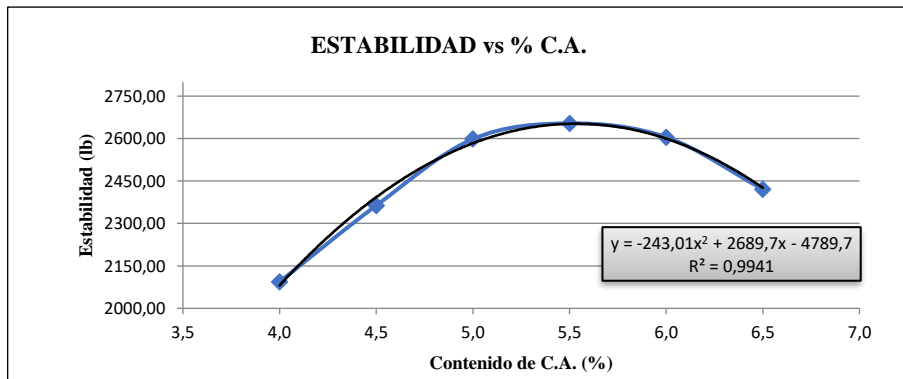
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14: Curva densidad-cemento asfáltico (%) con 3% filler



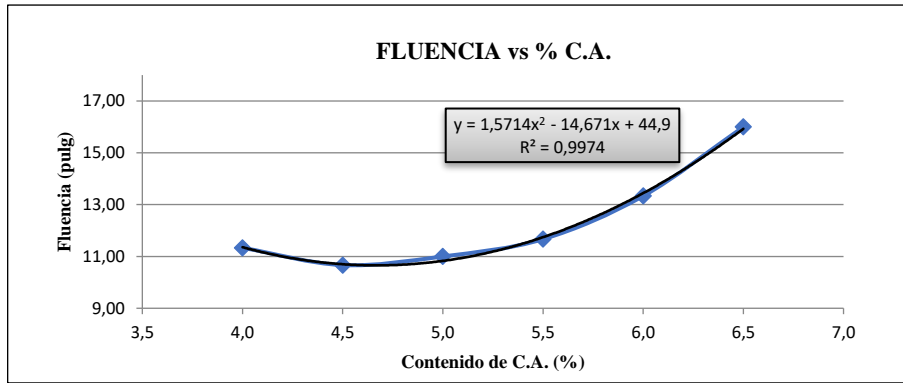
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 15: Curva estabilidad-cemento asfáltico (%) con 3% filler



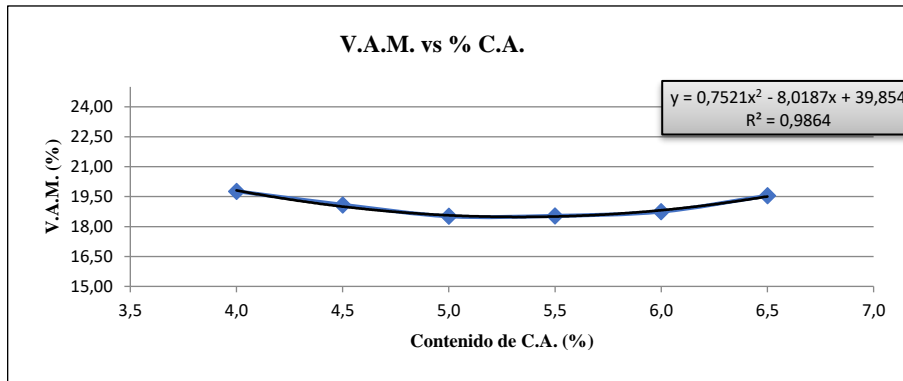
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 16: Curva fluencia-cemento asfáltico (%) con 3% filler



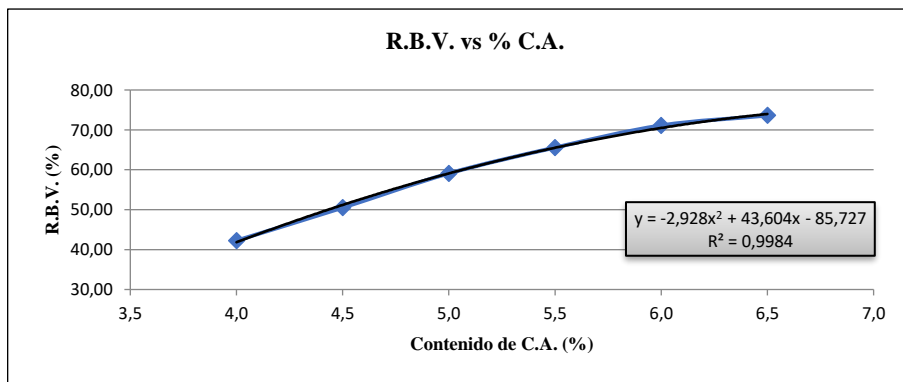
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 17: Curva V.A.M-cemento asfáltico (%) con 3% filler



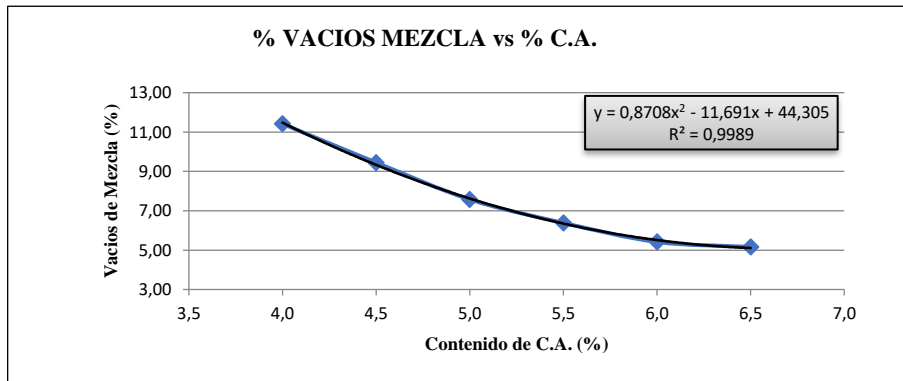
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18: Curva R.B.V-cemento asfáltico (%) con 3% filler



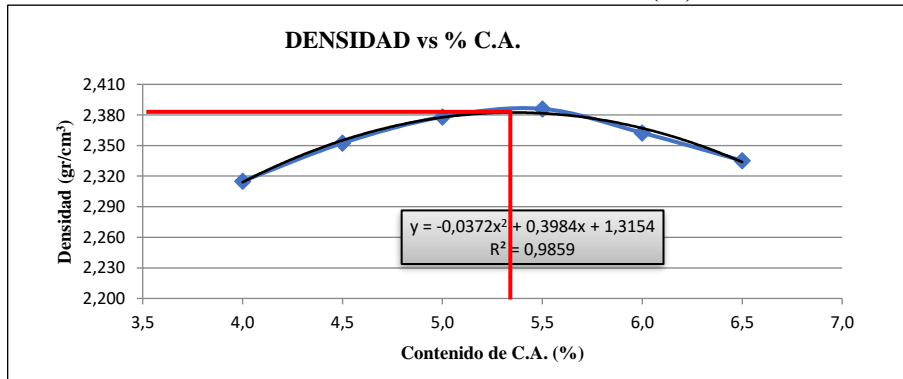
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 19: Curva % Vacíos-cemento asfáltico (%) con 3% filler



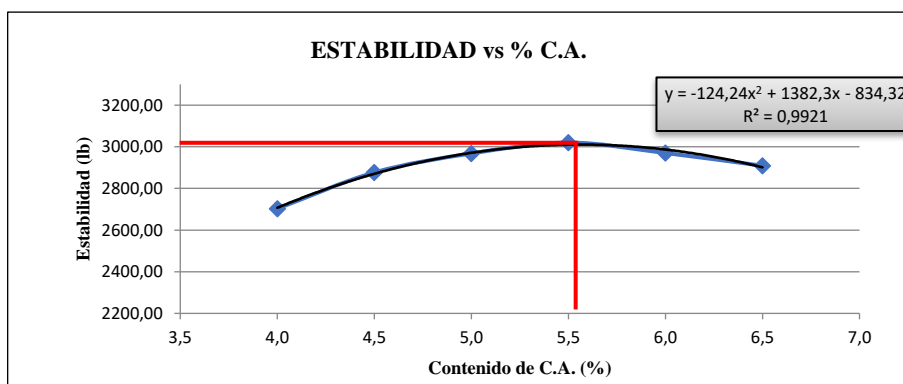
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 20: Curva densidad-cemento asfáltico (%) con 5% filler



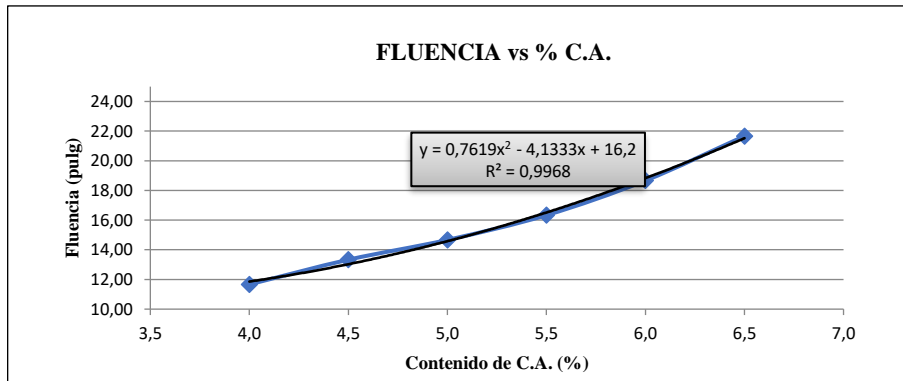
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 21: Curva estabilidad-cemento asfáltico (%) con 5% filler



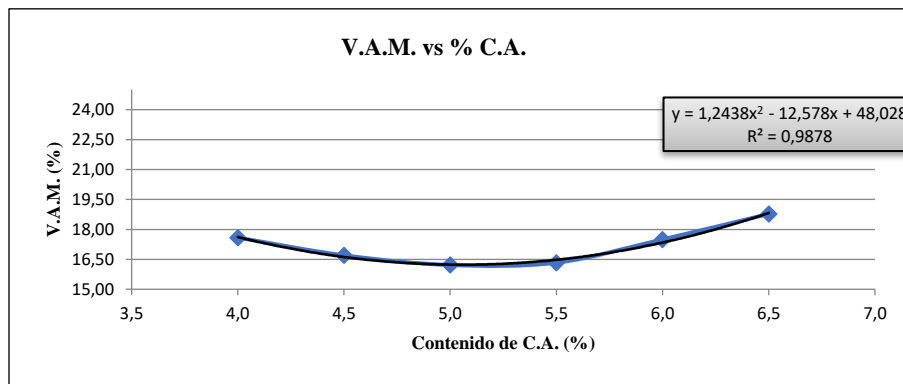
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 22: Curva fluencia-cemento asfáltico (%) con 5% filler



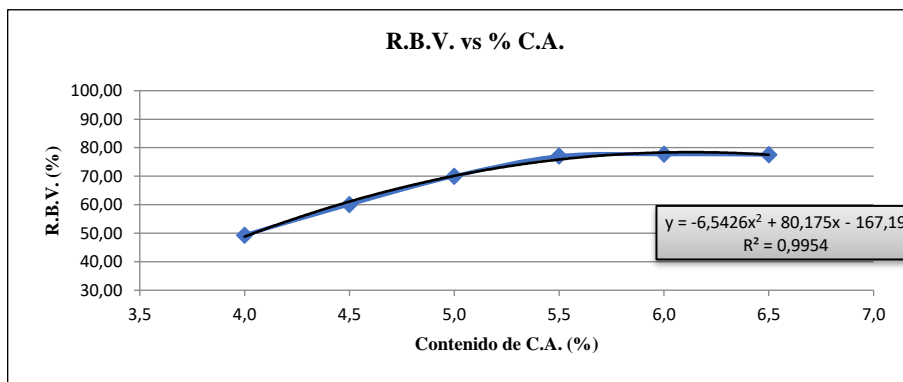
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 23: Curva V.A.M-cemento asfáltico (%) con 5% filler



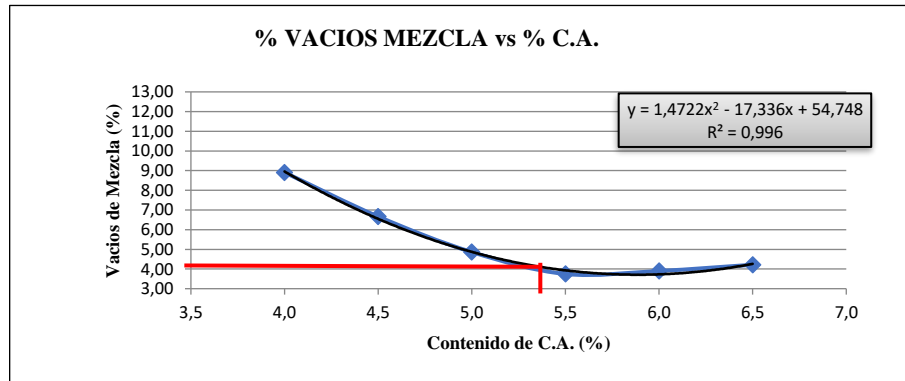
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 24: Curva R.B.V-cemento asfáltico (%) con 5% filler



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 25: Curva % Vacíos-cemento asfáltico (%) con 5% filler



Fuente: Elaboración propia

Solo se utilizará las gráficas obtenidas mediante el método Marshall para las mezclas asfálticas con 5% Filler.

Tabla 74: Resultado contenido optimo cemento asfáltico

	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (lb)	3010,56	5,56
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2,38	5,35
	% Vacíos de la mezcla (%)	4,00	5,45
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%)	5,46

Fuente: Elaboración Propia

Mediante las gráficas densidad-cemento asfáltico (%), estabilidad-cemento asfáltico (%), % Vacíos-cemento asfáltico (%), se pudo obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico con un valor de 5,46%, el cual será utilizado para la elaboración de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas, modificando los porcentajes de filler convencional por el Carbonato de Calcio.

4.5. Ensayos realizados a mezclas asfálticas convencionales y modificadas con carbonato de calcio

Se realizará 18 briquetas convencionales y 18 briquetas modificadas con Carbonato de Calcio como Filler modificando los porcentajes de Filler para verificar si cumplen con las especificaciones de la norma.

4.5.1. Dosificación con el contenido óptimo de cemento asfáltico

Se mantendrá la dosificación con el porcentaje óptimo del ensayo Marshall el cual tendrá 5,46% de contenido de asfalto. Para este caso se procede a modificar el filler convencional por el filler de Carbonato de Calcio variando los porcentajes al adicionarlo, los porcentajes de filler a utilizar serán de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% respectivamente.

Tabla 75: Dosificaciones para cada porcentaje de Filler con contenido óptimo de cemento asfáltico

Peso total de briketa (gr)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ponderación de grava (%)	29	29	29	29	29	29
Ponderación de gravilla (%)	30	30	30	30	30	30
Ponderación de arena (%)	40	39	38	37	36	35
Ponderación de filler (%)	1	2	3	4	5	6
Cemento asfáltico óptimo (%)	5,46%	5,46%	5,46%	5,46%	5,46%	5,46%
Porcentaje de agregado (%)	94,54%	94,54%	94,54%	94,54%	94,54%	94,54%
Peso del cemento asfáltico (gr) *	65,52	65,52	65,52	65,52	65,52	65,52
Peso de grava (gr) *	329,00	329,00	329,00	329,00	329,00	329,00
Peso de gravilla (gr) *	340,34	340,34	340,34	340,34	340,34	340,34
Peso de arena (gr) *	453,79	442,45	431,10	419,76	408,41	397,07
Peso de filler (gr) *	11,34	22,69	34,03	45,38	56,72	68,07
Peso total de la briketa (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Resultados método Marshall para cada porcentaje filler con su contenido óptimo de cemento asfáltico

Una vez elaborada la dosificación para cada % filler con el contenido óptimo de cemento asfáltico, se elaborará 18 briquetas convencionales y modificadas con carbonato de calcio.

Se sigue el mismo procedimiento experimental y matemático planteado anteriormente.

Tabla 76: Resultado densidad y % Vacíos para el 1% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos		
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)
			%	%		grs.	grs.	grs.	cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	1	5,46	5,78	6,07	1160,0	1161,3	676	485,3	2,39	2,353	2,48	5,18	17,45	70,31
2					6,25	1174,1	1177,0	678	499,0	2,35					
3					6,16	1167,1	1169,2	665	504,2	2,31					
4	convencional	1	5,46	5,78	6,34	1172,4	1177,6	667	510,6	2,30	2,30	2,48	7,47	19,37	61,41
5					6,31	1172,4	1175,9	667	508,9	2,30					
6					6,36	1173,6	1176,3	663	513,3	2,29					
Especificaciones					mínimo							3	13	75	
					máximo							5	-	82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77: Resultado estabilidad y fluencia para el 1% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 plg	0,01 plg
1	carbonato de calcio	1	5,46	5,78	6,07	963	2574,945	1,08	2783,52	2681,59	10	11,50
2					6,25	978	2615,337	1,03	2685,95			
3					6,16	915	2445,691	1,05	2575,31			
4	convencional	1	5,46	5,78	6,34	882	2356,828	1,00	2363,90	2326,02	11	10,67
5					6,31	845	2257,195	1,01	2282,02			
6					6,36	875	2337,979	1,00	2332,13			
Especificaciones					Mínimo					1800		8
					Máximo					-		16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Resultado densidad y % Vacíos para el 2% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta cm ³	Densidad Briqueta			% de Vacíos		
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)
			%	%		grs.	grs.	grs.		grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	2	5,46	5,78	6,41	1167,8	1170,7	678	492,7	2,37	2,36	2,48	4,76	17,10	72,19
2					6,43	1178,5	1180,7	679	501,7	2,35					
3					6,16	1155,9	1157,4	670	487,4	2,37					
4	convencional	2	5,46	5,78	6,50	1179,0	1183,5	674	509,5	2,31	2,32	2,48	6,58	18,62	64,66
5					6,54	1185,1	1189,2	678	511,2	2,32					
6					6,43	1179,9	1183,5	675	508,5	2,32					
ESPECIFICACIONES						mínimo				3	13	75			
						máximo				5	-	82			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79: Resultado estabilidad y fluencia para el 2% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	carbonato de calcio	2	5,46	5,78	6,41	1125	3011	0,99	2966,01	2987,73	13	14,00
2					6,43	1095	2930	0,98	2871,79		15	
3					6,16	1109	2968	1,05	3125,40		14	
4	convencional	2	5,46	5,78	6,50	951	2543	0,96	2447,28	2464,54	14	12,67
5					6,54	968	2588	0,95	2470,38		13	
6					6,43	945	2526	0,98	2475,95		11	
ESPECIFICACIONES									1800		8	
									-		16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80: Resultado densidad y % Vacíos para el 3% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen probeta cm ³	Densidad Briqueta			% de Vacíos		
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)
			%	%		grs.	grs.	grs.		grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	3	5,46	5,78	6,34	1179,8	1180,9	680	500,9	2,36	2,38	2,48	4,06	16,52	75,40
2					6,29	1166,6	1170,3	685	485,3	2,40					
3					6,30	1177,2	1179,8	686	493,8	2,38					
4	convencional	3	5,46	5,78	6,42	1176,7	1178,9	674	504,9	2,33	2,35	2,48	5,45	17,68	69,14
5					6,48	1179,1	1182,8	680	502,8	2,35					
6					6,43	1181,7	1185,6	685	500,6	2,36					
ESPECIFICACIONES					mínimo							3	13	75	
					máximo							5	-	82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81: Resultado estabilidad y fluencia para el 3% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	carbonato de calcio	3	5,46	5,78	6,34	1216	3256,2	1,00	3265,99	3390,19	15	15,33
2					6,29	1263	3382,8	1,02	3436,91		14	
3					6,30	1278	3423,2	1,01	3467,68		17	
4	convencional	3	5,46	5,78	6,42	985	2634,2	0,98	2588,09	2531,91	15	14,00
5					6,48	938	2507,6	0,97	2426,13		14	
6					6,43	985	2634,2	0,98	2581,50		13	
ESPECIFICACIONES									1800		8	
									-		16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Resultado densidad y % Vacíos para el 4% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teórica	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen Vacios)
			%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	4	5,46	5,78	6,12	1167,2	1168,5	684	484,5	2,41	2,40	2,48	3,15	15,76	80,01	
2					6,09	1157,8	1159,6	677	482,6	2,40						
3					6,11	1162,5	1164,1	681	483,6	2,40						
4	convencional	4	5,46	5,78	6,20	1155,2	1157,6	667	490,6	2,35	2,36	2,48	4,79	17,12	72,02	
5					6,14	1181,5	1182,9	676	506,9	2,33						
6					6,45	1173,8	1175,1	686	489,1	2,40						
ESPECIFICACIONES						mínimo						3	13	75		
						máximo						5	-	82		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83: Resultado estabilidad y fluencia para el 4% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	carbonato de calcio	4	5,46	5,78	6,12	1078	2884,6	1,07	3072,12	3260,18	19	19,00
2					6,09	1104	2954,6	1,07	3173,27		19	
3					6,11	1236	3310,1	1,07	3535,16		19	
4	convencional	4	5,46	5,78	6,20	965	2580,3	1,04	2683,54	2724,25	15	14,33
5					6,14	985	2634,2	1,06	2789,60		14	
6					6,45	1035	2768,8	0,98	2699,61		14	
ESPECIFICACIONES											1800	8
											-	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84: Resultado densidad y % Vacíos para el 5% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios		
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)
			%	%		grs.	grs.	grs.	cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	5	5,46	5,78	6,12	1174,8	1175,4	681	494,4	2,38	2,41	2,48	2,85	15,51	81,62
2					6,13	1164,5	1166,0	688	478,0	2,44					
3					6,13	1169,7	1170,7	688	482,7	2,42					
4	convencional	5	5,46	5,78	6,25	1155,3	1157,8	673	484,8	2,38	2,3802	2,48	4,05	16,50	75,47
5					6,34	1169,7	1171,2	677	494,2	2,37					
6					6,13	1174,5	1176,3	685	491,3	2,39					
ESPECIFICACIONES						mínimo						3	13	75	
						máximo						5	-	82	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85: Resultado estabilidad y fluencia para el 5% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	carbonato de calcio	5	5,46	5,78	6,12	1049	2806,5	1,07	2988,95	3091,05	20	21,00
2					6,13	1107	2962,7	1,06	3146,40			
3					6,13	1104	2954,6	1,06	3137,82			
4	convencional	5	5,46	5,78	6,25	1045	2795,8	1,03	2871,24	3028,72	15	14,67
5					6,34	1145	3065	1,00	3074,23			
6					6,13	1105	2957,3	1,06	3140,68			
ESPECIFICACIONES											1800	8
											-	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: Resultado densidad y % Vacíos para el 6% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			
			base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teórica	% de vacios mezcla total	V.A.M. (vacios agregado mineral)	R.R.V. (relación betumen vacíos)
			%	%		grs.	grs.	grs.		cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%
1	carbonato de calcio	6	5,46	5,78	6,22	1187,8	1188,9	695	493,9	2,40	2,42	2,48	2,67	15,36	82,62	
2					6,07	1163,5	1164,1	685	479,1	2,43						
3					6,15	1175,7	1176,5	690	486,5	2,42						
4	convencional	6	5,46	5,78	6,23	1168,2	1170,1	676	494,1	2,36	2,39631	2,48	3,39	15,95	78,72	
5					6,15	1154,2	1156,1	678	478,1	2,41						
6					6,10	1159,2	1160,9	680	480,9	2,41						
ESPECIFICACIONES						mínimo						3	13	75		
						máximo						5	-	82		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: Resultado estabilidad y fluencia para el 6% de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	Tipo de Filler	% Filler	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia		
			base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
			%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg	
1	carbonato de calcio	6	5,46	5,78	6,22	978	2615,3	1,04	2706,87	2851,19	26	27,00	
2					6,07	1047	2801,1	1,08	3028,03		28		
3					6,15	998	2669,2	1,06	2818,67		27		
4	convencional	6	5,46	5,78	6,23	1015	2715	1,03	2801,85	2814,09	16	16,00	
5					6,15	985	2634,2	1,06	2781,70		17		
6					6,10	998	2669,2	1,07	2858,71		15		
ESPECIFICACIONES											1800		8
											-		16

Fuente: Elaboración propia

4.6. Análisis de resultados del método Marshall

Se analizará la influencia que produce al modificar las mezclas asfálticas en caliente con Carbonato de Calcio como Filler y compararla con una mezcla asfáltica convencional.

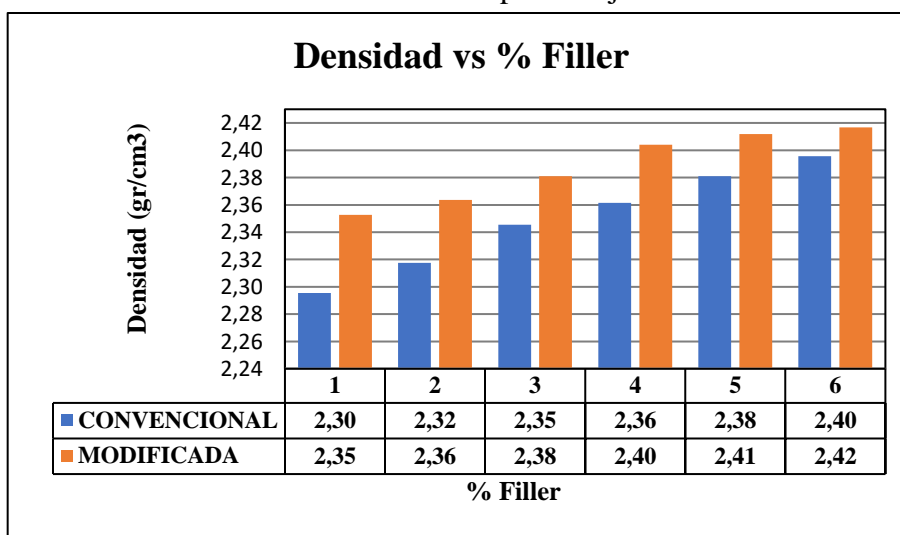
4.6.1. Densidad vs porcentaje de Filler

Tabla 88: Densidad vs porcentaje de filler

densidad (gr/cm ³)						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	2,35	2,36	2,38	2,40	2,41	2,42
Convencional	2,30	2,32	2,35	2,36	2,38	2,40

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 26: Densidad vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 26, a medida que va aumentando el porcentaje de Filler la mezcla asfáltica se hace más densa, sin embargo, se puede verificar que la mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio como Filler tiene un resultado mayor debido a que el Carbonato de Calcio tiene un Peso específico mayor que la Convencional.

Observando la variación, al empezar con el 1 por ciento de filler, la mezcla modificada aumenta 2,49% en comparación con la mezcla convencional, y al aumentar el porcentaje

de filler a 6% la mezcla modificada aumenta 0,88% en comparación con la mezcla convencional. Obteniendo un valor máximo de 2,42 g/cm³.

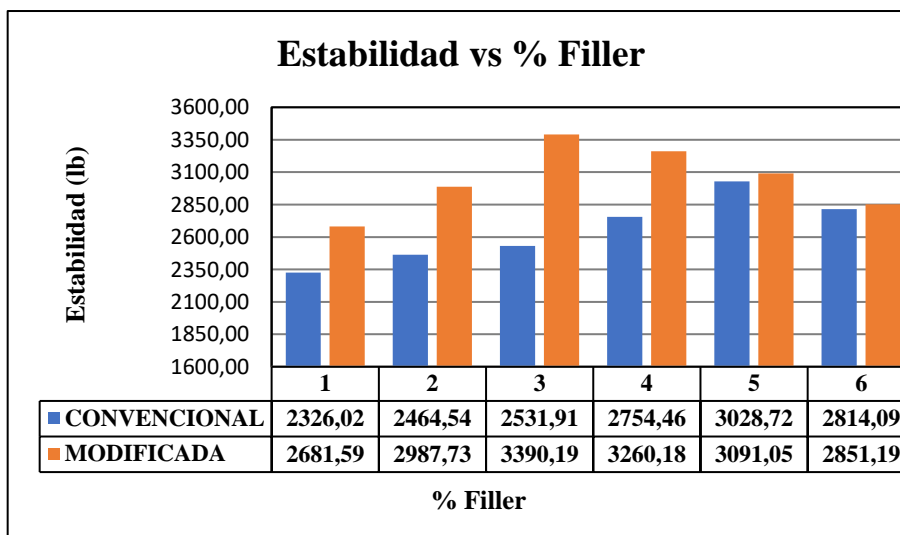
4.6.2. Estabilidad vs porcentaje de filler

Tabla 89: Estabilidad vs porcentaje de filler

Estabilidad (lb)						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	2681,59	2987,73	3390,19	3260,18	3091,05	2851,19
Convencional	2326,02	2464,54	2531,91	2754,46	3028,72	2814,09

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 27: Estabilidad vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 27, se puede observar que la estabilidad llega a su punto máximo cuando el porcentaje de filler es el 3%, con lo cual al momento de aumentar el porcentaje de filler al 4% y sucesivamente la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada empieza a disminuir.

Haciendo la comparación de la mezcla asfáltica modificada con una mezcla asfáltica convencional, se puede decir que a un porcentaje de filler de 3% la mezcla asfáltica modificada aumenta su valor un 33,90% en comparación con la mezcla convencional, y al elaborar una mezcla modificada con un porcentaje de 6% de filler la mezcla aumenta

su valor 0,88% en comparación de una mezcla convencional, lo cual brinda menos del 1% de mejoramiento en la estabilidad.

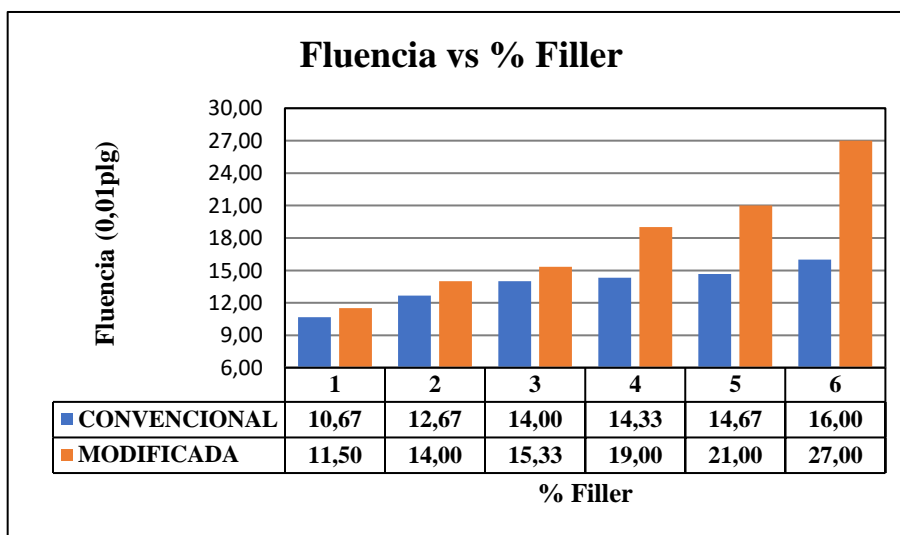
4.6.3. Fluencia vs porcentaje de filler

Tabla 90: Fluencia vs porcentaje de filler

Fluencia (0,01")						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	11,50	14,00	15,33	19,00	21,00	27,00
Convencional	10,67	12,67	14,00	14,33	14,67	16,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 28: Fluencia vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la fluencia, podemos observar en la gráfica 28, que tiene una disposición a aumentar su valor a medida que se aumenta el porcentaje de filler.

En una mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio cuando se añade 3 por ciento su valor aumenta 9,52% en comparación de una mezcla asfáltica convencional, pero cumple satisfactoriamente la especificación la cual nos indica que tiene que estar entre 8 – 16.

Al aumentar el porcentaje de filler de la mezcla modificada se observa que la fluencia alcanza un valor 68,75% mayor que la mezcla convencional.

Lo cual indica que a mayor porcentaje de filler la mezcla modificada tiene la capacidad de soportar mayor deformación bajo la aplicación de una carga.

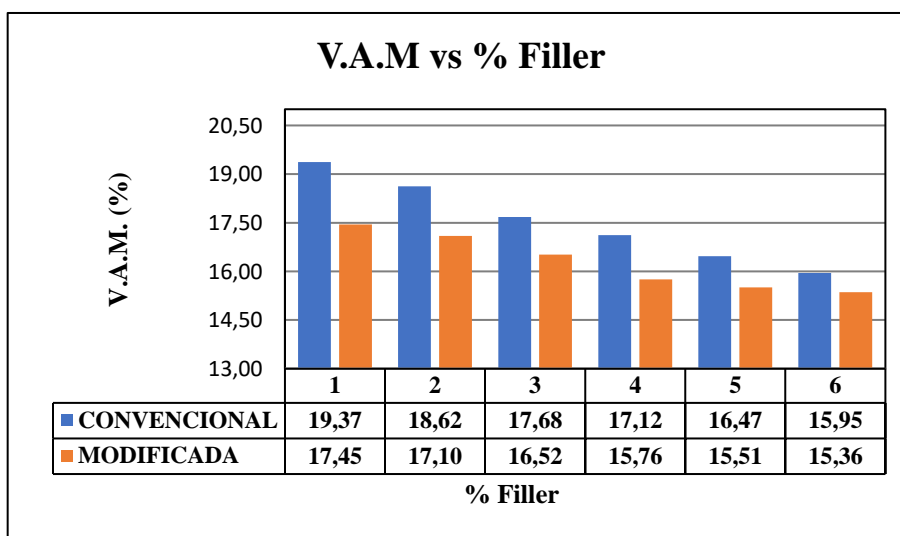
4.6.4. %Vacíos de agregado mineral (V.A.M) vs porcentaje de filler

Tabla 91: V.A.M vs porcentaje de filler

Vacíos de agregado mineral V.A.M (%)						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	17,45	17,10	16,52	15,76	15,51	15,36
Convencional	19,37	18,62	17,68	17,12	16,47	15,95

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 29: Vacíos de agregado mineral V.A.M (%) vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 29, se puede observar que ambos porcentajes de vacíos agregado mineral cumplen con la norma que indica un mínimo de 13%, la mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio como Filler a medida que aumenta el porcentaje de filler tiene la tenencia de disminuir el %V.A.M, esto se debe a que la mezcla asfáltica es muy densa y puede llegar a afectar a la compactación lo cual puede comprometer la vida útil del pavimento.

El porcentaje de vacíos de agregado mineral de la mezcla modificada tiene valores menores al del porcentaje de vacíos de agregado mineral de la mezcla convencional, llegando a disminuir en 9,91% con el 1% de filler, y 3,71% con el 6% de filler.

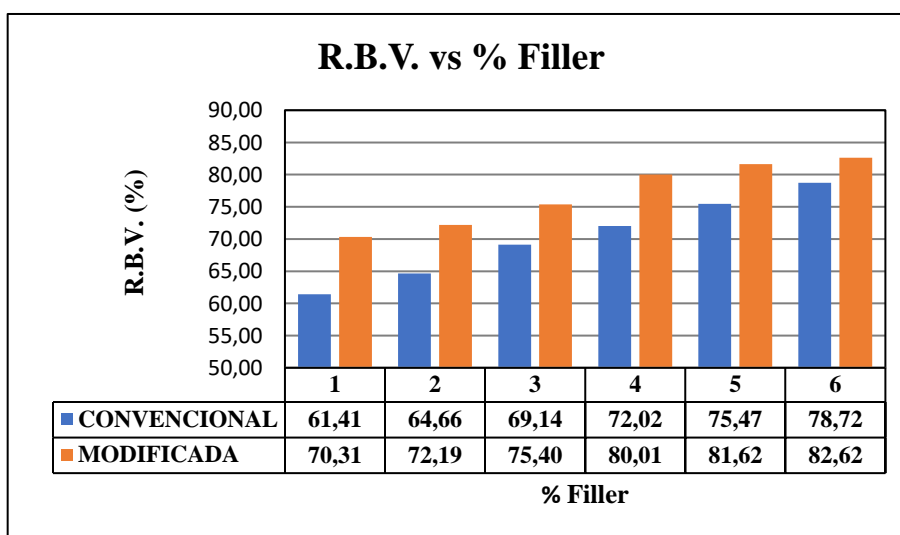
4.6.5. Relación betumen vacíos R.B.V (%) vs porcentaje de filler

Tabla 92: Relación Betumen Vacíos vs porcentaje de filler

Relación Betumen Vacíos (%)						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	70,31	72,19	75,40	80,01	81,62	82,62
Convencional	61,41	64,66	69,14	72,02	75,47	78,72

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 30: R.B.V.(%) vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 30, se puede observar que la relación betumen vacíos aumenta según aumenta los porcentajes de filler en la mezcla asfáltica, esto se debe al contenido de filler, por que a mayor % filler mayor es el requerimiento de cemento asfáltico o betún en la mezcla.

Así mismo, los resultados de R.B.V de la mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio son mayores que la mezcla asfáltica convencional.

Variando en 14,49% cuando el porcentaje de filler es 1%, y 4,95% cuando el porcentaje de filler es 6%, en comparación con una mezcla asfáltica convencional.

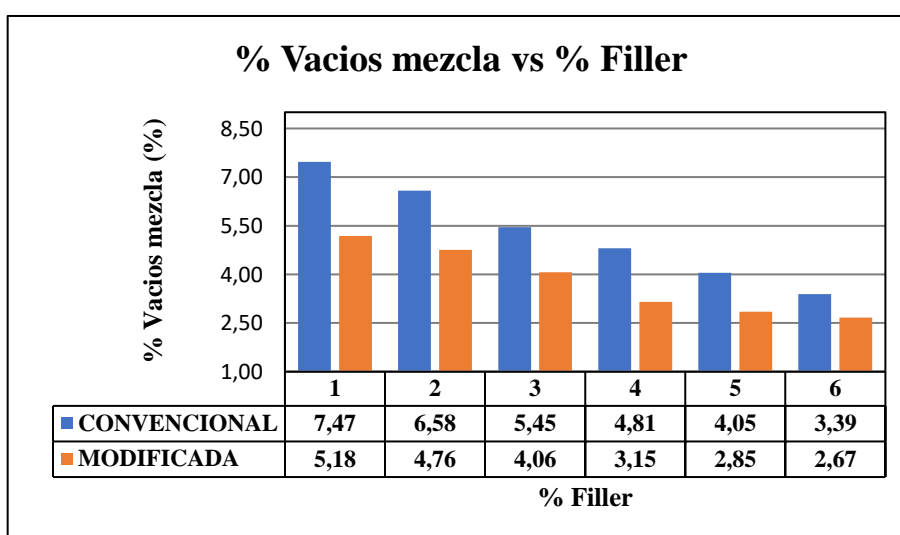
4.6.6. %Vacíos vs porcentaje de filler

Tabla 93: % Vacíos vs porcentaje de filler

% Vacíos (%)						
Filler	% Filler					
	1	2	3	4	5	6
Carbonato de Calcio	5,18	4,76	4,06	3,15	2,85	2,67
Convencional	7,47	6,58	5,45	4,81	4,05	3,39

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 31: % Vacíos Mezcla total vs porcentaje de filler



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 31, se puede observar que el porcentaje de Vacíos empieza a disminuir a medida que aumenta el porcentaje de filler, esto debido a que a mayor porcentaje de filler, menores porcentaje de Vacíos.

La mezcla asfáltica con Carbonato de Calcio tiene menor porcentaje de Vacíos en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Por lo que una mezcla asfáltica modificada con Carbonato de Calcio como filler es aceptable hasta un porcentaje de 4%, debido a que al aumentar más de 4% filler de Carbonato de Calcio su porcentaje de Vacíos sobrepasa el valor mínimo de 3%, porque ya no estaría cumpliendo las especificaciones.

4.7. Determinación del contenido óptimo de carbonato de calcio

Para determinar el contenido óptimo del Carbonato de Calcio como filler se procede a aplicar el mismo procedimiento utilizado para determinar el contenido óptimo de asfalto, el cual nos indica que se sacaran de las gráficas

- Porcentaje de filler con la densidad máxima.
- Porcentaje de filler con la estabilidad máxima.
- Porcentaje de filler con los vacíos que estén dentro de la especificación (se asume la media de la especificación de la norma).

Tabla 94: Resultado contenido óptimo de carbonato de calcio como filler

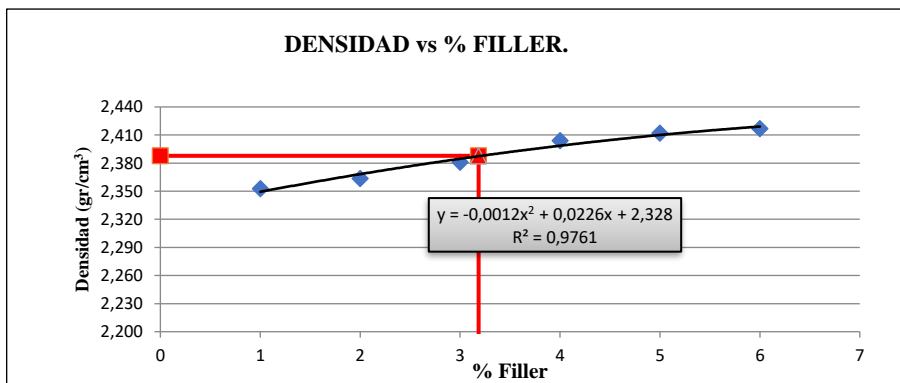
Descripción	Carbonato de calcio						criterio para el % óptimo de filler	% de filler (%)
	% Filler							
	1	2	3	4	5	6		
Densidad	2,35	2,37	2,38	2,40	2,41	2,42	máxima	6,00
Estabilidad	2681,59	3035,47	3436,33	3260,18	3091,05	2851,19	máxima	3,66
% Vacíos	5,18	4,16	3,91	3,15	2,85	2,67	(3-5)	2,71
							Promedio	3,19

Fuente: Elaboración propia

Realizando el procedimiento explicado anteriormente se pudo obtener el porcentaje óptimo de Filler de Carbonato de Calcio el cual nos da un valor de 3,19%.

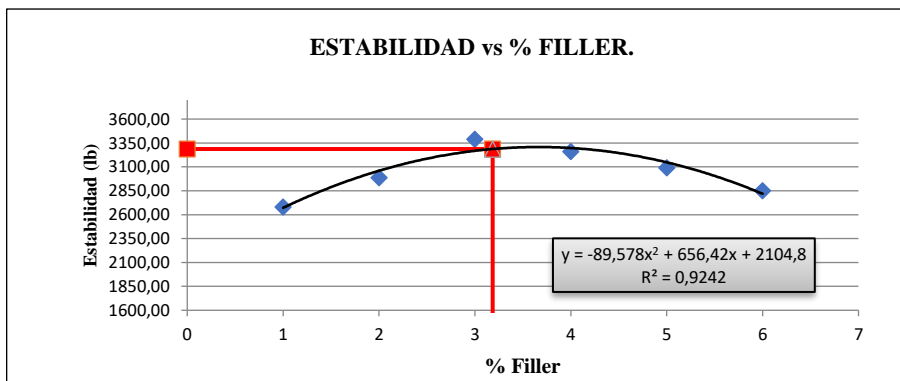
Una vez encontrado el porcentaje óptimo de filler se debe verificar que el resultado obtenido si cumpla con las especificaciones

Gráfica 32: Densidad en función al porcentaje óptimo de filler



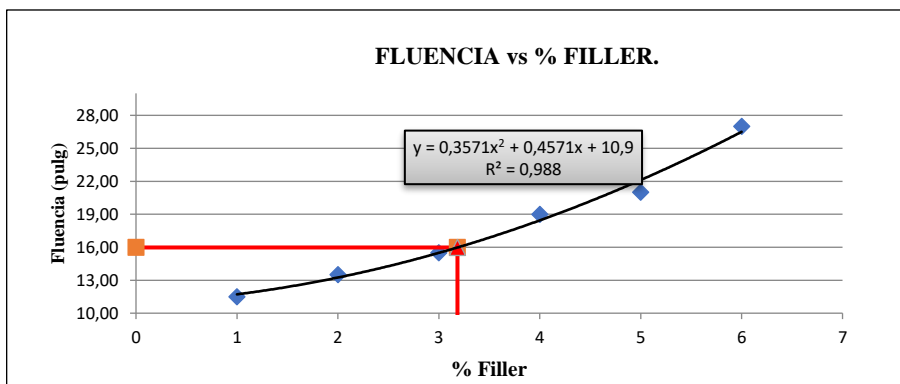
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 33: Estabilidad en función al porcentaje óptimo de filler



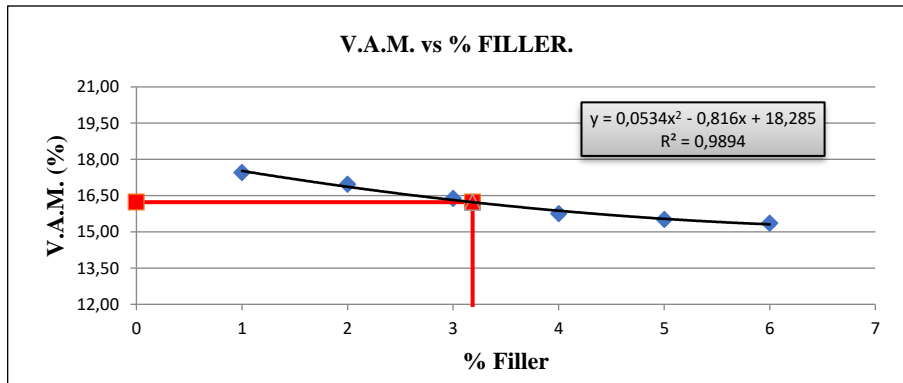
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 34: Fluencia en función al porcentaje óptimo de filler



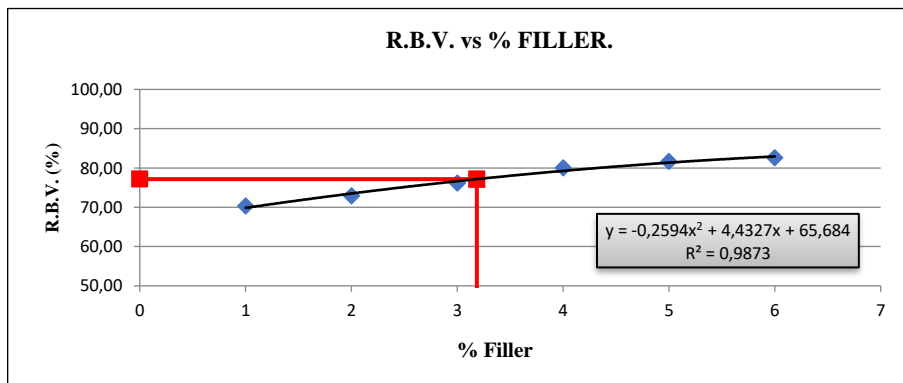
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 35: V.A.M en función al porcentaje óptimo de filler



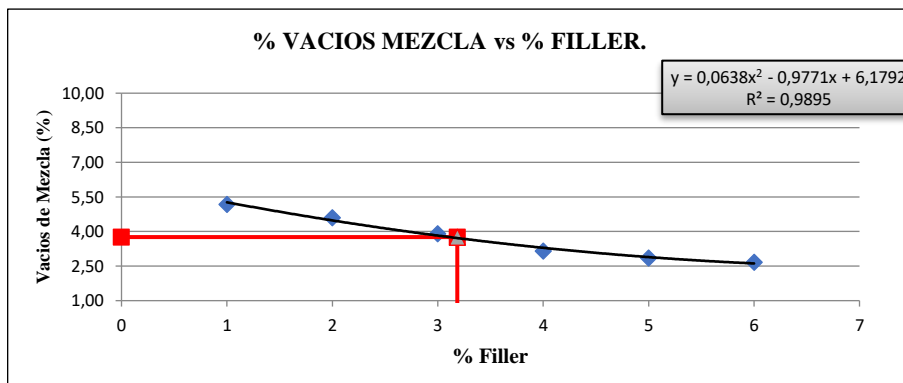
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 36: R.B.V. en función al porcentaje óptimo de filler



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 37: Porcentaje de vacíos en función al porcentaje óptimo de filler



Fuente: Elaboración propia

Gráficamente se puede verificar que el porcentaje óptimo de filler 3,19% si cumple con las especificaciones.

4.8. Análisis técnico de la mezcla asfáltica con carbonato de calcio como filler

Se realizará 3 briquetas con el porcentaje óptimo de filler para poder verificar sus propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 95: Dosificación final con el porcentaje óptimo de filler

Peso Total de Briketa (gr)	1200
Ponderación de Grava (%)	29
Ponderación de Gravilla (%)	30
Ponderación de Arena (%)	37,82
Ponderación de Filler (%)	3,19
Cemento asfáltico Optimo (%)	5,46%
Porcentaje de Agregado (%)	94,54%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	65,52
Peso de Grava (gr) *	329,00
Peso de Gravilla (gr) *	340,34
Peso de Arena (gr) *	429,00
Peso de Filler (gr) *	36,13
Peso total de la briketa (gr) *	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizadas las briquetas se determina sus propiedades físicas y mecánicas para verificar si cumplen las especificaciones de la norma.

Tabla 96: Resultado densidad y % Vacíos con el contenido óptimo de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briketa			Volumen probeta cm ³	Densidad Briketa			% de Vacíos		
	base Mezcla %	base Agregados %		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real grs/cm ³	Densidad promedio grs/cm ³	densidad maxima teórica grs/cm ³	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral) %	R.B.V. (relación betumen vacíos) %
				grs.	grs.	grs.							
1	5,46	5,78	6,19	1168,5	1170,7	685	485,7	2,41	2,39	2,48	3,85	16,34	76,45
2			6,27	1171,1	1173,8	681	492,8	2,38					
3			6,28	1169,4	1170,9	679	491,9	2,38					
ESPECIFICACIONES			mínimo										
			máximo										

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97: Resultado estabilidad y fluencia con el contenido óptimo de filler y contenido óptimo de cemento asfáltico

N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Estabilidad Marshall					Fluencia	
	base Mezcla	base Agregados		lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	Fluencia promedio
	%	%		mm	libras	-	libras	libras	0,01 pulg	0,01 pulg
1	5,46	5,78	6,19	1096	2933	1,04	3059,21	3239,41	16	15,67
2			6,27	1189	3184	1,02	3250,37		15	
3			6,28	1249	3345	1,02	3408,64		16	
ESPECIFICACIONES							1800		8	
							-		16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98: Resultados obtenido con el contenido óptimo de filler

Tipo de filler	Convencional (5%)	Carbonat o de calcio (3,19%)	Valores de la norma	
			Min.	Max.
Densidad (gr/cm³)	2,38	2,39	-	-
% Vacios (%)	4,05	3,85	3	5
V.A.M. (%)	16,50	16,34	13	-
R.B.V. (%)	75,47	76,45	75	82
Estabilidad (lb)	3028,72	3239,41	1800	-
Fluencia (0,01")	14,67	15,67	8	16

Fuente: Elaboración propia

Al sustituir el carbonato de calcio como filler con un porcentaje de 3,19% cumple con las especificaciones y las normas que establece el ensayo Marshall, tiene una densidad de 2,39(gr/cm³), un porcentaje de vacíos de 3,85%, vacíos de agregado mineral V.A.M. de 16,34(%), una relación de betún – vacíos R.B.V. de 76,45(%), una estabilidad de 3239,41 (lb) y una fluencia de 15,67 (0,01”), comparando con el filler convencional sus propiedades son más altas.

4.9. Especificación técnica de mezclas asfáltica modificada con carbonato de calcio

4.9.1. Descripción

A continuación, se describirá la colocación de una capa asfáltica fabricada en tibio y, construida sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con la presente especificación. Las mezclas asfálticas para empleo en pavimentación tibia se compondrán de agregados minerales gruesos, finos, filler mineral y material bituminoso.

4.9.2. Materiales

. Agregado grueso

El agregado grueso empleado para la ejecución de la mezcla asfáltica deberá poseer una naturaleza tal, que, al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas. El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estarán exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

. Agregado fino

El agregado fino empleado para la ejecución de mezcla asfáltica deberá poseer una naturaleza tal, que, al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas. El agregado fino estará constituido por arena de

trituration o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación

. Carbonato de calcio como filler

El filler se denomina al que pasa el tamiz N° 200 el cual el carbonato de calcio provendrá de la obtención mediante compra de la empresa QUIMICA BASSE S.A.

. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la carretera. El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formará espuma cuando sea calentado.

4.9.3. Equipos y maquinaria

Todos los equipos empleados deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del Supervisor teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad de la presente especificación y de la correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

. Depósitos para el cemento asfáltico

Los depósitos para el cemento asfáltico deberán ser capaces de calentar el material a las temperaturas especificadas. El calentamiento deberá realizarse mediante serpentines a vapor, electricidad u otros medios, de modo que no exista contacto de las llamas con el interior del depósito.

. Depósitos para los agregados

Planta granulométrica equipada con unidad clasificadora de agregados después del secado, que distribuirá el material clasificado para los silos (mínimo 3). Debiendo uno de

ellos recibir la parcela que pasa el tamiz N°4. El mezclador será con doble eje conjugado provisto de paletas reversibles y movibles. El mezclador debe poseer un dispositivo de descarga de fondo ajustado y dispositivo para controlar de ciclo a ciclo completo de mezcla.

De preferencia la descarga en el camión (volqueta) deberá ser hecha de modo que haya 3 montones de la mezcla en su tolva.

. Camiones para transporte de mezcla asfáltica mezclado en caliente

Los camiones (volquetas) designados para el transporte de la mezcla asfáltica, deben ser dotados de tolva metálica basculante, robustas, limpias y lisas, ligeramente lubricadas con agua y jabón, aceite crudo fino, aceite parafinado o solución de cal, de modo que se evite la adherencia de la mezcla en las chapas.

La utilización de productos susceptibles de disolver el cemento asfáltico (kerosen, diésel, gasolina, etc.) no será permitida.

La mezcla debe ser cubierta con lona impermeable durante el trayecto entre la planta y el lugar de aplicación.

. Acabadora autopropulsada

Debe ser capaz de esparcir y conformar la mezcla al alineamiento, cotas y sección transversal del proyecto, dotada de perno sinfín para una buena distribución de la mezcla en el ancho de una faja, marchas para adelante y para atrás, acabadores y lamina vibratoria para compactado de la mezcla.

El regulado del sistema de vibración de la mesa de la terminadora o del tamper deberá asegurar una compactación de por lo menos 90% de la compactación con relación a la densidad de proyecto. Esa determinación podrá ser comprobada mediante la extracción de una muestra que será extractada por medio de sonda rotativa.

. Equipos para compactación

Constituidos por rodillo neumático y rodillo metálico liso, vibratorio, tipo tándem de 2 ejes, de 6 a 8 toneladas. Los rodillos neumáticos, autopropulsadas, deben ser dotados de dispositivos que permitan el cambio automático, de presión en las ruedas entre 0,25 a 0,84Mpa (35 a 12 libras/pul²)

Los equipos podrán ser utilizados desde que se hayan aprobado por la supervisión.

4.9.4. Ejecución

. Tramo de prueba

Antes de iniciar los trabajos, el Contratista emprenderá un tramo de prueba para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitud definidos de acuerdo con el Supervisor, el método definitivo de preparación, transporte, colocación y compactación de la mezcla o tratamiento, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación. En el caso de la construcción de lechadas asfálticas, el proceso no incluirá la etapa de compactación. El Supervisor tomará muestras de la mezcla, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan. En caso de que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el Contratista deberá efectuar inmediatamente las correcciones requeridas en los equipos y sistemas o, si llega a ser necesario, en la fórmula de trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones. El Supervisor determinará si es aceptable la ejecución de los tramos de prueba como parte integrante de la obra en construcción. En caso que los tramos de prueba sean rechazados o resulten defectuosos el Contratista deberá levantarlo totalmente, transportando los residuos a las zonas de depósito indicadas en el Proyecto u ordenados por el Supervisor. Durante la aplicación del material bituminoso, el contratista deberá contar con extintores, dispuestos en lugares de fácil accesibilidad para el personal de obra, debido a que las temperaturas en las que se trabajan pueden generar incendios. En las áreas que han sido tratadas, no se debe permitir el paso de vehículos, para lo cual se instalarán las señalizaciones y desvíos correspondientes, sin que perturbe en gran medida el normal tránsito de los vehículos.

. Transporte de la mezcla

La mezcla se transportará a la obra en volquetes hasta una hora de día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del Supervisor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para que al descargarla sobre la máquina pavimentadora. Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del contratista.

. Extensión de la mezcla

La mezcla se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Supervisor. A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación. En los sitios en los que a juicio del Supervisor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla podrá extenderse a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Supervisor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del contratista.

. Compactación de la mezcla

La compactación deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos, según haya sido dispuesto durante la ejecución del tramo de prueba. La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Supervisor, hasta que la superficie total haya sido compactada.

Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Supervisor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada. Se tendrá cuidado en el cilindrado para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que formarán los bordes exteriores del pavimento terminado, serán chaflanados ligeramente. La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua. La compactación se continuará y se concluirá con un apisonado final que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

4.9.5. Medición

La carpeta asfáltica, se medirá en metros cúbicos (m^3) del espesor compactado especificado y aceptado, por el Supervisor, de acuerdo a los planos y presentes especificaciones. El volumen se determinará multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho y el espesor especificado en los planos u ordenado por el Supervisor. No se medirá ningún volumen por fuera de tales límites.

4.9.6. Pago

El pago se efectuará al precio unitario del Contrato por metro cúbico (m^3), aceptada a satisfacción por el Supervisor, entendiéndose que dicho pago constituirá compensación total por los trabajos prescritos y cubrirá los costos de materiales, mano de obra en trabajos

diurnos y nocturnos, herramientas, equipos pesados, transporte y todos los gastos que demande el cumplimiento satisfactorio del contrato, incluyendo los imprevistos. El precio deberá incluir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de licencias ambientales para la explotación de los agregados y la elaboración de las mezclas; las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras.

4.10. Análisis económico de la mezcla asfáltica convencional y modificada

Al obtener el porcentaje óptimo de carbonato de calcio se procede se procede a calcular los rendimientos para el filler convencional y modificado.

4.10.1. Análisis del precio de producción de la mezcla asfáltica convencional

Composición de la mezcla

Agregado: 94,54%

Cemento asfáltico: 5,46%

Tabla 99: Composición mezcla convencional

Observaciones	Cálculo de dosificación de la mezcla convencional	
	Materiales	Porcentaje (%)
Mezcla asfáltica convencional	Agregado 3/4" (29%)	27,42
	Agregado 3/8" (30%)	28,36
	Arena (36%)	34,03
	Filler convencional (5%)	4,73
	Cemento asfáltico (%)	5,46
	Total (%)	100

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones: 2250 kg/m³

Tabla 100: Dosificación para 1 m³ mezcla asfáltica convencional

Dosificación para 1 m ³				
Material	Peso (Kg)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava 3/4"	616,95	2680	0,230	m ³
Gravilla 3/8"	638,10	2670	0,239	m ³
Arena	765,68	2675	0,286	m ³
Filler convencional	106,43	2740	0,039	m ³
Cemento asfáltico	122,85	1033	-	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101: Precio de producción para 1m³ de mezcla asfáltica convencional

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
DATOS GENERALES				
PROYECTO: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CARBONATO DE CALCIO				
COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS				
ACTIVIDAD CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA CONVENCIONAL)				
CANTIDAD: 1,00				
UNIDAD	m ³	MONEDA: BOLIVIANOS (Bs)		
DESCRIPCION	UNID.	REND.	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1. MATERIALES				
Cemento asfáltico 85-100	kg	122,850	8,68	1.066,021
grava triturada 3/4"	m ³	0,230	110,00	25,300
gravilla triturada 3/8"	m ³	0,239	125,00	29,875
arena	m ³	0,286	130,00	37,180
filler convencional	m ³	0,039	150,00	5,850
diesel	lt	18,000	3,72	66,960
TOTAL MATERIALES				1.231,190
2. MANO DE OBRA				
operador de planta asfaltica	hr	0,090	41,83	3,76
ayudante de planta asfaltica	hr	0,120	23,87	2,86
personal de limpieza	hr	1,660	16,06	26,67
peon	hr	1,800	16,06	28,92
operador de terminadora de asfalto	hr	0,320	26,96	8,63
operador de rodillo neumatico	hr	0,320	25,00	8,00
operador de rodillo liso	hr	0,320	25,00	8,00
maestro de asfalto	hr	0,160	43,75	7,00
operador de equipo	hr	0,32	25,00	8,00
ayudante de operador	hr	0,32	20,00	6,40
SUB TOTAL MANO DE OBRA				108,24
CARGAS SOCIALES=(% del subtotal de mano de obra)(55% al 71,18%)			71,18%	77,05
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA 14,94%			14,94%	27,68
TOTAL MANO DE OBRA				212,97
3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
planta asfaltica	hr	0,016	3.800,00	60,800
distribuidor de asfalto	hr	0,002	400,00	0,800
terminadora de asfalto	hr	0,016	1.500,00	24,000
rodillo neumatico	hr	0,016	350,00	5,600
cargador frontal	hr	0,016	350,00	5,600
volqueta	hr	0,048	150,00	7,200
rodillo liso	hr	0,016	350,00	5,600
HERRAMIENTAS MENORES=(% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	10,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				120,25
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
COSTO TOTAL (1+2+3)				1.564,41
GASTOS GENERALES			15,00%	234,66
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				234,66
5. UTILIDAD				
COSTO TOTAL (1+2+3+4)				1.799,069
UTILIDAD 10%			10,00%	179,91
TOTAL UTILIDAD				179,91
6. IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT 3,09%			3,09%	61,15
TOTAL IMPUESTOS				61,15
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)				2.040,13

Fuente: Elaboración propia

4.10.2. Análisis del precio de producción de la mezcla asfáltica modificada

Tabla 102: Composición mezcla modificada

Observaciones	Cálculo de dosificación de la mezcla modificada	
	Materiales	Porcentaje (%)
Mezcla asfáltica modificada con carbonato de calcio como filler	Agregado 3/4" (29%)	27,42
	Agregado 3/8" (30%)	28,36
	Arena (37,82%)	35,75
	Filler modificado (3,19%)	3,01
	Cemento asfáltico (%)	5,46
	Total (%)	100

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones: 2250kg/m³

Tabla 103: Dosificación para 1 m³ mezcla asfáltica modificada

Dosificación para 1 m ³				
Material	Peso (Kg)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava 3/4"	616,95	2680	0,230	m ³
Gravilla 3/8"	638,10	2670	0,239	m ³
Arena	804,38	2675	0,286	m ³
Carbonato de calcio	67,73	2790	-	Kg
Cemento asfáltico	122,85	1033	-	Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104: Precio de producción para 1m³ de mezcla asfáltica modificada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
DATOS GENERALES				
PROYECTO: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CARBONATO DE CALCIO COMO FILLER EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS				
ACTIVIDAD CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO (MEZCLA MODIFICADA)				
CANTIDAD: 1,00				
UNIDAD : m ³		MONEDA: BOLIVIANOS (Bs)		
DESCRIPCION	UNID.	REND.	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1. MATERIALES				
Cemento asfáltico 85-100	kg	122,850	8,68	1.066,021
grava triturada 3/4"	m ³	0,230	110,00	25,300
gravilla triturada 3/8"	m ³	0,239	125,00	29,875
arena	m ³	0,286	130,00	37,180
filler modificado (carbonato de calcio)	kg	67,730	8,84	598,733
diesel	lt	18,000	3,72	66,960
TOTAL MATERIALES				1824,07
2. MANO DE OBRA				
operador de planta asfáltica	hr	0,090	41,83	3,76
ayudante de planta asfáltica	hr	0,120	23,87	2,86
personal de limpieza	hr	1,660	16,06	26,67
peon	hr	1,800	16,06	28,92
operador de terminadora de asfalto	hr	0,320	26,96	8,63
operador de rodillo neumatico	hr	0,320	25,00	8,00
operador de rodillo liso	hr	0,320	25,00	8,00
maestro de asfalto	hr	0,160	43,75	7,00
operador de equipo	hr	0,32	25,00	8,00
ayudante de operador	hr	0,32	20,00	6,40
SUB TOTAL MANO DE OBRA				108,24
CARGAS SOCIALES=(% del subtotal de mano de obra)(55% al 71,18%)			71,18%	77,05
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA 14,94%			14,94%	27,68
TOTAL MANO DE OBRA				212,97
3. EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
planta asfáltica	hr	0,016	3.800,00	60,800
distribuidor de asfalto	hr	0,002	400,00	0,800
terminadora de asfalto	hr	0,016	1.500,00	24,000
rodillo neumatico	hr	0,016	350,00	5,600
cargador frontal	hr	0,016	350,00	5,600
volqueta	hr	0,048	150,00	7,200
rodillo liso	hr	0,016	350,00	5,600
HERRAMIENTAS MENORES=(% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	10,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				120,25
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
COSTO TOTAL (1+2+3)				2.157,29
GASTOS GENERALES			15,00%	323,59
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				323,59
5. UTILIDAD				
COSTO TOTAL (1+2+3+4)				2480,8785
UTILIDAD 10%			10,00%	248,09
TOTAL UTILIDAD				248,09
6. IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT 3,09%			3,09%	84,33
TOTAL IMPUESTOS				84,33
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)				2813,30

Fuente: Elaboración propia

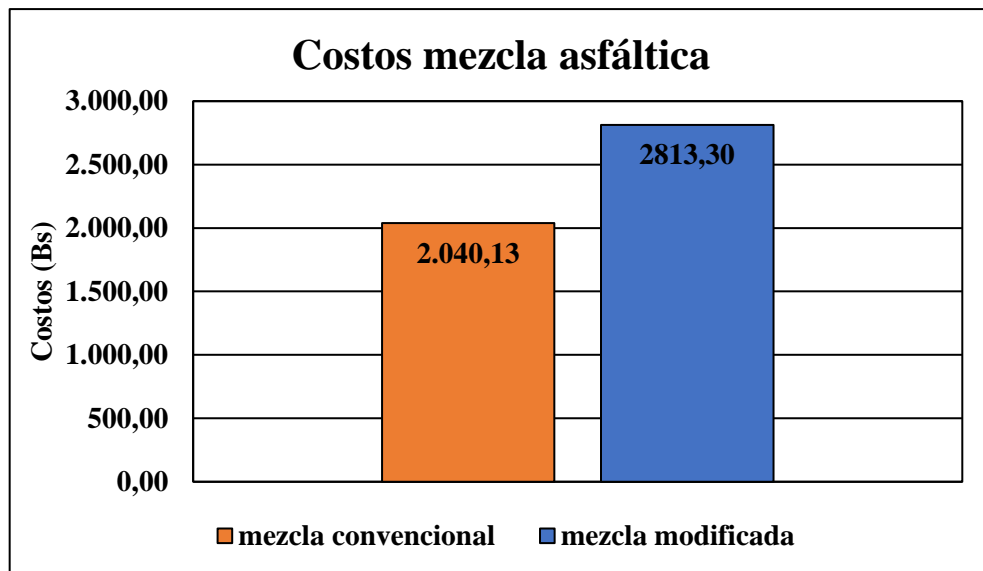
4.10.3. Resultados del precio unitario de producción de las mezclas asfálticas

Tabla 105: Costo de producción de las mezclas asfálticas convencional y modificada

N°	Descripción	Costo (Bs)	Incremento
1	Mezcla asfáltica convencional	2040,13	0%
2	Mezcla asfáltica modificada con carbonato de calcio como filler	2813,30	37,90

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 38: Comparación del costo de producción de las mezclas asfálticas



Fuente: Elaboración propia

Económicamente una mezcla asfáltica convencional es la más económica con un precio de 2040,13 Bs por lo que es nuestra mezcla asfáltica patrón el incremento de costo de producción es 0%.

Una mezcla asfáltica modificada con carbonato de calcio como filler incrementa su costo de producción a 2813,30 Bs y al comparar con una mezcla asfáltica convencional su costo de producción se incrementa en 37,90% o 773,17 Bs.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Una vez realizado el análisis de los resultados obtenidos del método Marshall se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determino la caracterización de los agregados grueso (Grava, Gravilla, arena) lo cual cumplen satisfactoriamente las especificaciones de las normativas AASTHO, ASTM
- Se determino el peso específico del Carbonato de Calcio el cual se utilizó como filler (mezcla asfáltica modificada) y el peso específico del filler convencional lo cual nos indica en los resultados en la tabla 53 y tabla 51 respectivamente que el Carbonato de calcio tiene un peso específico 1,82% o $0,05\text{gr/cm}^3$ mayor que el peso específico del filler convencional.
- Se realizo la caracterización del Cemento Asfáltico en laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S. el cual nos da resultados reflejado en la tabla 61 que cumple las normativas vigentes AASTHO, ASTM.
- Mediante la aplicación del método Marshall se pudo determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico el cual nos dio un resultado de 5,46%.
- Se pudo determinar las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con Carbonato de Calcio y mezclas asfálticas convencionales.
- Se determinó que las mezclas asfálticas modificadas con el porcentaje óptimo de Carbonato de Calcio como filler proporciona mejores resultados en comparación con la mezcla asfáltica convencional.
- Aplicando el método Marshall se pudo determinar el contenido óptimo de filler, en la tabla 97 se refleja que el porcentaje óptimo de filler de Carbonato de Calcio tiene un valor de 3,19% y respectivamente se pudo optar de un contenido de filler convencional del 5% ya que cumple con las especificaciones.

- Con el contenido óptimo de filler su densidad es de $2,39 \text{ gr/cm}^3$ y con el filler convencional se obtuvo una densidad de $2,38 \text{ gr/cm}^3$ lo cual nos indica la mezcla modificada es más densa en $0,42\%$ o $0,01 \text{ gr/cm}^3$ en comparación con una mezcla convencional
- El porcentaje de vacíos de una mezcla modificada y convencional nos dio como resultado de $3,85\%$ y $4,05\%$ respectivamente, lo cual tiene una variación de $4,94\%$ menor en comparación de la mezcla convencional, pero ambas mezclas asfálticas cumplen con la especificación la cual nos indica que tiene que comprendido entre 3% y 5% .
- Los vacíos de agregado mineral (V.A.M.) de una mezcla asfáltica modificada y convencional se obtuvo como resultado $16,34\%$ y $16,50\%$ respectivamente, lo cual tiene una variación de $0,97\%$ menor en comparación con la mezcla asfáltica convencional.
- La relación betún – vacíos (R.B.V.) de una mezcla asfáltica modificada y convencional nos dio como resultado $76,45\%$ y $75,47\%$ respectivamente, lo cual se tiene una variación de $1,30\%$ mayor en comparación con la mezcla asfáltica convencional.
- La estabilidad de una mezcla asfáltica modificada y convencional se obtuvo un resultado de $3239,41 \text{ (lb)}$ y $3028,72 \text{ (lb)}$ respectivamente, lo cual tiene una variación de $6,96\%$ mayor en comparación con la mezcla asfáltica convencional lo cual nos indica que tiene la mezcla modificada con carbonato de calcio tiene una mayor capacidad de resistir deformaciones permanentes bajo cargas repetidas.
- La fluencia de una mezcla asfáltica modificada y convencional nos dio como resultado $15,67 \text{ (0,01"')}$ y $14,67 \text{ (0,01"')}$ respectivamente, lo cual nos indica que la mezcla asfáltica modificada tiene una variación de $6,82\%$ en comparación de la mezcla asfáltica convencional, la mezcla asfáltica modificada está llegando a su valor máximo de 16 (0,01"') lo cual nos indica que la mezcla asfáltica está alcanzando valor máximo de deformación permanente.
- A medida que se aumenta el porcentaje de Carbonato de Calcio como filler la fluencia aumenta lo cual nos indica que la mezcla asfáltica tiene una mayor capacidad de deformarse sin fallar, lo que puede ser deseable en condiciones donde

se espera una alta flexibilidad, como en climas fríos o en zonas con grandes cambios de temperatura.

- Se pudo verificar que al aumentar el porcentaje de Carbonato de Calcio como filler su densidad aumenta.
- Se determinó que al aumentar el porcentaje de Carbonato de Calcio como filler el porcentaje de vacíos tiende a bajar por debajo de su valor mínimo de la especificación, lo cual nos indica que puede llegar a ser un problema a largo plazo ya que si se tiene un Porcentaje de Vacíos menor al valor mínimo puede generar deformaciones permanentes (ahuellamiento) en el pavimento.
- Al aumentar más del 4% de Carbonato de Calcio como filler el (%) V.A.M disminuye lo cual puede dificultar la compactación adecuada durante la construcción de un pavimento y puede llegar a producir segregación del agregado.
- En el aspecto técnico una mezcla asfáltica modificada con el porcentaje óptimo de carbonato de calcio como filler de 3,19% se obtiene mejores resultados de sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con una mezcla asfáltica convencional.
- En el aspecto económico una mezcla asfáltica modificada con carbonato de calcio como filler tiene un costo de 2813,30 y una mezcla asfáltica convencional tiene un costo de 2040,13Bs, lo cual indica que no es factible ya que se obtiene un incremento de costo de 773,17Bs (37,90%) en comparación de una mezcla asfáltica convencional.
- Se podría optar por buscar otro proveedor de carbonato de calcio, ya que el carbonato de calcio obtenido se compró en el País de Argentina (Bueno Aires), lo cual podría ser el motivo por el elevado costo de la mezcla asfáltica modificada.

5.2. Recomendaciones

- Como recomendación particular, es necesario el uso de una ropa de trabajo adecuada para realizar la caracterización de los agregados pétreos, los materiales asfálticos y en la preparación de las mezclas asfálticas, con el fin de evitar cualquier accidente y promover la protección personal.
- Es indispensable contar con equipos de alta tecnología para el calentamiento y compactado de las mezclas asfálticas, para evitar los errores de elaboración de briquetas y demás ensayos sobre mezclas asfálticas.
- El ensayo de compactación de briquetas se recomienda realizarlo con una misma temperatura de 160°C, esto para mezclas convencionales en caliente y en este caso para mezclas asfálticas en caliente modificadas con Carbonato de Calcio como filler, para ello se recomienda tomar rigurosamente la temperatura de ensayo, con el fin de evitar pérdida de propiedades y errores en los resultados.
- Realizar la lectura en el momento de la realización de los ensayos con debido cuidado para evitar mala toma de datos o datos erróneos los cuales son usados al momento de realizar los cálculos respectivos.
- Realizar un control más riguroso con respecto a la temperatura y tiempo de rotura de mezclas en caliente, con una temperatura constante de 60°C y un tiempo no mayor a 30 min., puesto que este es un factor determinante para la obtención de buenos resultados de estabilidad y fluencia.
- Se recomienda no excederse en la adición de filler en la mezcla asfáltica ya que podrían generar pavimentos rígidos y frágiles los cuales pueden disminuir la vida útil del pavimento.